



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۷۸۸۷-۵

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

17887-5

1st.Edition

2014

آزمون و تحقیقات خاک و پی  
آزمون ژئوهیدرولیک -  
قسمت ۵: آزمون های نفوذسنجی

Geotechnical investigation and testing -  
Geohydraulic testing -  
Part 5: Infiltration tests

ICS:93.020

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

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

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته‌شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به‌عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

---

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«آزمون و تحقیقات خاک و پی - آزمون ژئوهیدرولیک - قسمت ۵: آزمون‌های نفوذسنجی»

### رئیس:

رحیمی، مرتضی

(کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی)

### سمت و/ یا نمایندگی

استاد دانشگاه پیام نور سبزوار

### دبیر:

حسینی، سید محمد

(کارشناس زمین شناسی)

### اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

جعفری ایوری، سید علی

(کارشناس مهندسی عمران)

خدام عباسی، روح الله

(کارشناس فیزیک)

کارشناس اداره کل استاندارد استان سمنان

کارشناس مسؤل اداره کل استاندارد استان گلستان

رییس اداره اندازه شناسی و اوزان و مقیاس های اداره کل

استاندارد سمنان

نماینده شرکت اکتشافات نفتی رضی

رخشانی، حسین

(کارشناس ارشد زمین شناسی)

رییس گروه صنایع ساختمانی اداره کل استاندارد استان

سمنان

طیبان، محمد رضا

(کارشناس مهندسی عمران)

نماینده شرکت سمنان پارس

نعیمی، رضا

(کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی)

کارشناس اداره کل استاندارد استان سمنان

یغمایی، فرزاد

(کارشناس مهندسی عمران)

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش گفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و یکاها
۲	۱-۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۱-۳ نمادها و یکاها
۳	۴ وسایل
۳	۱-۴ کلیات
۳	۲-۴ سلول آزمون
۶	۳-۴ سامانه اندازه گیری برای فشار هیدرواستاتیک یا حجم نفوذ داده شده
۷	۴-۴ دستگاه اندازه گیری دما
۷	۵-۴ مواد مورد نیاز
۷	۵ روش انجام آزمون
۷	۱-۵ آماده سازی سطح آزمون
۷	۲-۵ نصب حلقه یا حلقه ها
۷	۳-۵ روش انجام آزمون
۹	۴-۵ متوقف کردن نفوذسنج
۹	۵-۵ مشاهدات چشمی یا تهیه عکس ها
۹	۶ بیان نتایج آزمون
۱۰	۷ گزارش های آزمون
۱۰	۱-۷ گزارش آزمون میدانی
۱۱	۲-۷ گزارش آزمون

۱۲	ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج آزمون نفوذسنج	پیوست الف (اطلاعاتی)
۱۵	تصحیح تاثیر تغییرات دما	پیوست ب (اطلاعاتی)
۱۷	تعیین نفوذپذیری	پیوست پ (اطلاعاتی)
۲۳		کتابنامه

پیش گفتار

استاندارد «آزمون و تحقیقات خاک و پی- آزمون ژئوهیدرولیک- قسمت ۵: آزمون نفوذسنجی» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده است و در پانصدمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۳/۰۱/۲۷ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

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

منبع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 22282-5:2012, Geotechnical investigation and testing - Geohydraulic testing -Part 5:  
Infiltration tests

## مقدمه

«این استاندارد یکی از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۷۰۶۱ است.»

# آزمون و تحقیقات خاک و پی - آزمون ژئوهیدرولیک - قسمت ۵: آزمون‌های نفوذسنجی

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات بررسی‌های پایه‌ای به‌وسیله آزمون‌های نفوذسنجی که بخشی از خدمات بررسی ژئوتکنیکی مطابق با استانداردهای بند ۲-۲ و بند ۲-۳ است، می‌باشد. این بخش به تعیین موقعیت نفوذپذیری آب یک سازند زمین‌شناسی موجود یا مواد فشرده یا حرارت داده شده می‌پردازد.

آزمون نفوذسنجی برای تعیین ظرفیت نفوذسنجی زمین در سطح یا عمق کم مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمون روشی ساده برای تعیین ضریب نفوذپذیری است. این روش را می‌توان با استفاده از حالت ثابت یا حالت گذرا در خاک‌های اشباع یا غیراشباع مورد استفاده قرار داد.

اصل این آزمون بر اساس اندازه‌گیری میزان دبی جریان عمودی آب در سطح که در خاک تحت تاثیر افت هیدرولیکی مثبت نفوذ می‌کند.

دستگاه‌های نفوذپذیری در سطح عبارتند از:

نفوذسنج دو حلقه‌ای و یا تک حلقه‌ای از نوع باز یا بسته.

دستگاه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری برای محدوده‌های مختلفی از نفوذپذیری تطابق داده شده‌اند. سامانه‌های باز درگستره نفوذپذیری ( $5^{-10}$  تا  $8^{-10}$ ) متر بر ثانیه و سامانه‌های بسته نفوذپذیری کمتر از  $8^{-10}$  متر بر ثانیه تطبیق داده شده‌اند.

بسته به شرایط محیطی و نفوذپذیری آب در خاک، مدت زمان انجام آزمون بین چند دقیقه تا چند روز متغیر است.

در این استاندارد واژگان و پارامترهای اندازه‌گیری شده تعریف می‌شوند. این استاندارد ویژگی‌های مورد نیاز وسایل را مشخص می‌کند راهکارهای آزمون‌ها را در رابطه با روش‌های اندازه‌گیری مختلف توضیح می‌دهد و نتایج آزمون‌ها را بیان می‌دارد.

این بخش در موارد زیر کاربرد دارد:

- پروژه‌های مهندسی عمران؛

- بررسی و مطالعات هیدرولوژی؛

- دفع پسماند.

## ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در این استاندارد ملی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.



در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۷۰۶۱: سال ۱۳۹۳- آزمون و تحقیقات خاک و پی - آزمون ژئوهیدرولیک- قسمت ۱: قوانین کلی

2-2 ISO 22475-1, Geotechnical investigation and testing - Sampling methods and groundwater measurements -Part 1: Technical principles of execution

### ۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و یکاها

#### ۱-۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در بند ۱-۲ کاربرد دارد.

#### ۲-۳ نمادها و یکاها

در این استاندارد، نمادها و یکاهای ارائه شده در جدول ۱ به کار می‌رود.

جدول ۱ - نمادها و یکاها

نماد	تعریف	واحد
$D_1$	قطر داخلی حلقه نفوذسنج	متر
$D_2$	قطر بیرونی حلقه نفوذسنج	متر
$h$	شیب هیدرولیک	متر
$ht$	شیب هیدرولیک در زمان $t$	متر
$k$	ضریب نفوذپذیری	$\text{متر ثانیه}^{-1}$
$t$	زمان	ثانیه
$Z_w$	ضخامت منطقه اشباع شده	متر
$Z_p$	عمق نفوذ سلول	متر
$v$	سرعت میزان جریان	$\text{متر ثانیه}^{-1}$
$V$	حجم و اندازه	-
$\eta T$	چسبندگی دینامیک در دمای $T$	ثانیه
$\theta$	درصد رطوبت حجمی	-
$w$	درصد رطوبت ثقلی	-
$\rho_d$	گرانروی خشک	$\text{کیلوگرم متر}^{-3}$
$\rho_s$	گرانروی اشباع	$\text{کیلوگرم متر}^{-3}$
$\Psi_f$	مکش در منطقه نفوذسنج	متر

## ۴ وسایل

### ۴-۱ کلیات

وسایل آزمون از موارد زیر تشکیل شده است:

۴-۱-۱ سلول آزمون برای نفوذ آب به درون خاک؛

۴-۱-۲ دستگاهی برای اندازه‌گیری فشار، سطح آب و یا حجم نفوذ داده شده به‌عنوان تابعی از زمان. در برخی موارد (یعنی راهکار ثابت) به وسایل و اتصال لوله‌ها و فشارسنج و اندازه و حجم سلول آزمون نیز نیاز است؛

۴-۱-۳ وسایلی برای نصب حلقه‌ها (فشار، نگه‌داشتن، چسباندن و بستن)؛

۴-۱-۴ مخزن و پمپ آب (اختیاری)؛

۴-۱-۵ دستگاه زمان‌سنج یا ثبت زمان که برحسب ثانیه باش؛

۴-۱-۶ وسایل بیشتر که عبارت‌اند از دستگاه عایق‌سازی حرارت، وسایلی برای نمونه‌برداری و آماده‌سازی محدوده آزمون.

مطابق استاندارد بند ۲-۱ تمام وسایل و دستگاه‌های اندازه‌گیری باید به صورت دوره‌ای واسنجی شوند.

### ۴-۲ سلول آزمون

آزمون را می‌توان با یک سامانه بسته و یا باز انجام داد.

#### ۴-۲-۲ سامانه باز

سلول آزمون از یک حلقه استوانه‌ای واحد و یا دو حلقه استوانه‌ای هم محور تشکیل شده است (شکل ۱ را ببینید).

در نمونه حلقه دوتایی، قطر بیرونی  $D_2$  باید حداقل دو برابر قطر حلقه درونی  $D_1$ ، ( $D_1 \geq 200\text{mm}$ ) باشد.

در نمونه حلقه واحد، قطر آن باید حداقل ۲۰۰ میلی‌متر باشد.

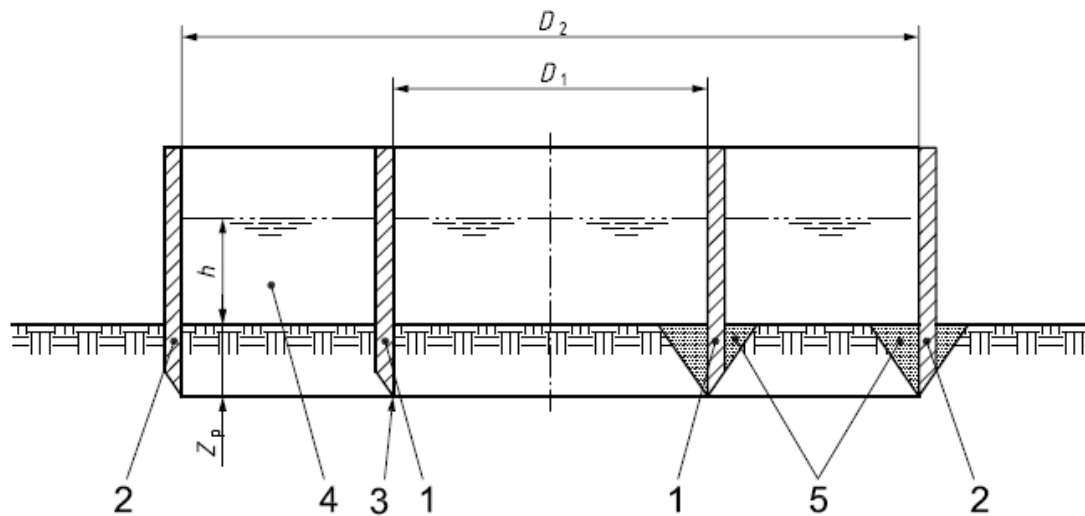
دستگاه آزمون باید طوری طراحی شود که به عمق حداقل ۵۰ میلی‌متر در زمین فرو رود.

حلقه‌ها باید محکم و از نظر ابعاد پایدار باشند. قسمت انتهایی باید تیز شود تا نفوذ به آسانی انجام شود.

#### ۴-۲-۳ سامانه بسته

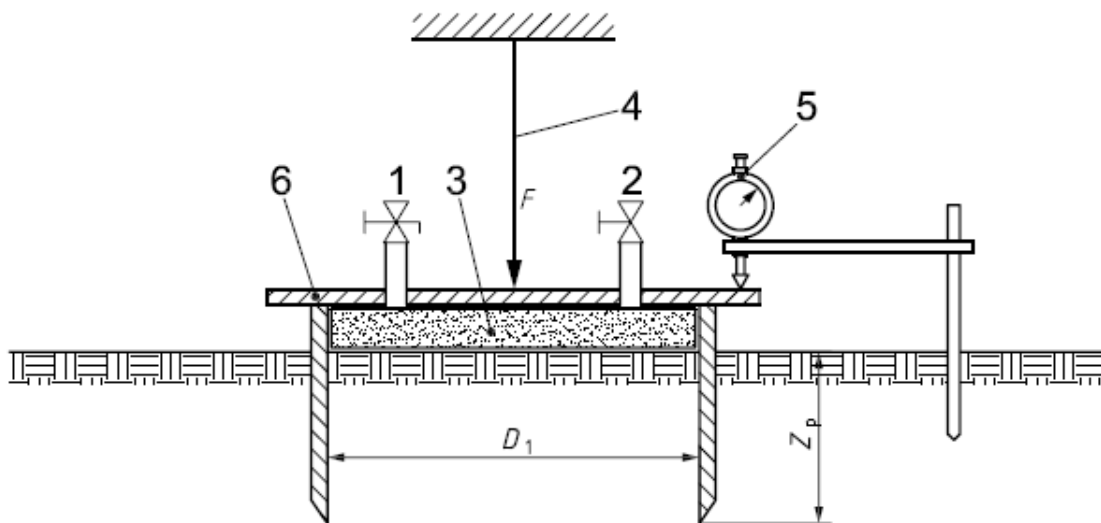
سلول آزمون از یک حلقه استوانه‌ای واحد که با سرپوش محکم بسته شده است (شکل ۲ و ۳ را ببینید). قطر حلقه  $D_1$  نباید کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر باشد. سرپوش باید به شیرهای آب‌کش و شیرهای تامین مایع مجهز باشند. یک دستگاه سنجش مقاومت، فیلتر و منفذدار که بر روی زمین و متصل به دهانه است (شکل ۲ را ببینید) را باید برای محدود کردن منطقه آزمون به کار برد (تا از متورم شدن و تغییر شکل خاک جلوگیری شود).

دستگاه آزمون طوری طراحی شود که به عمق نفوذ حداقل ۵۰ میلی‌متر در خاک فرو رود. برای اینکه از جابه‌جایی سلول آزمون که به دلیل نیروهایی که از فشار اعمال شده تولید می‌شود جلوگیری شود، از سامانه وزنه ثابت یا دستگاه نگهداری می‌توان استفاده کرد. جابه‌جایی احتمالی سلول آزمون را می‌توان با تنظیم حداقل ۰/۰۱ میلی‌متر کنترل کرد.



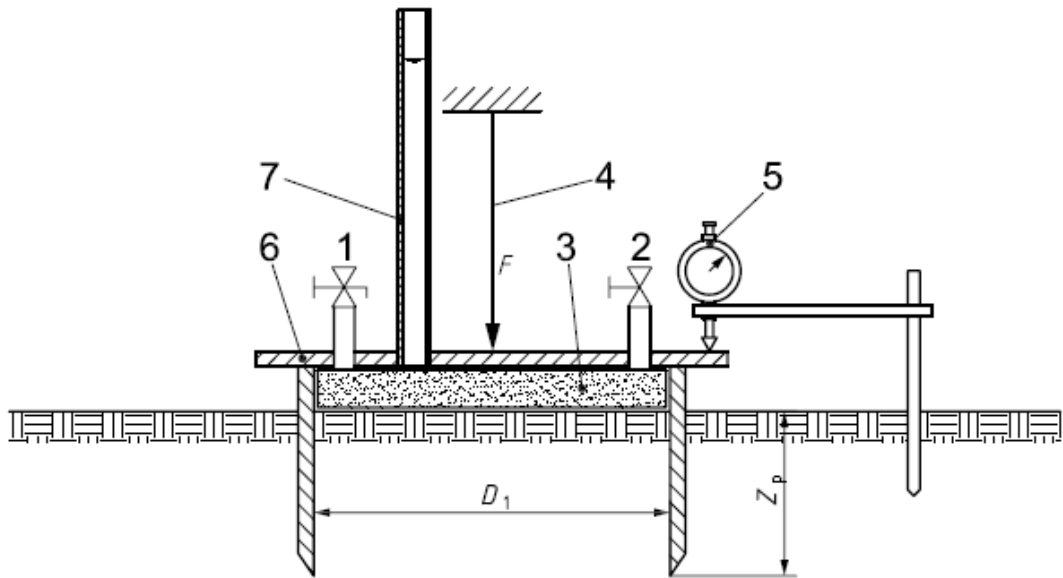
- راهنما
- ۱ حلقه درونی
  - ۲ حلقه بیرونی
  - ۳ لبه تیزشده
  - ۴ اندازه و حجم آب
  - ۵ مواد مسدودکننده
  - $Z_p$  عمق نفوذ
- همچنین پیوست الف را ببینید.

شکل ۱ - سطح مقطع یک حلقه دوتایی باز - مثال



- راهنما
- ۱ شیرهای زهکشی
  - ۲ شیرهای تامین آب
  - ۳ دستگاه محدودکننده (اختیاری)
  - ۴ نیروی همه جانبه
  - ۵ اندازه جابه‌جایی
  - ۶ سلول نفوذسنج
- $F$  نیرو
- $Z_p$  عمق نفوذ
- همچنین پیوست الف را ببینید.

شکل ۲ - سطح مقطع حلقه واحد بسته (مثال) - نوع اف- ثابت



- راه‌نما
- ۱ شیرهای زهکشی
  - ۲ شیر تامین آب
  - ۳ دستگاه محدودکننده
  - ۴ نیروی همه جانبه
  - ۵ میله اندازه‌گیری جابه‌جایی
  - ۶ سلول نفوذسنج
  - ۷ لوله اندازه‌گیری
- F نیرو
- $Z_p$  عمق نفوذ
- همچنین پیوست الف را ببینید.

شکل ۳- سطح مقطع حلقه واحد بسته (مثال) - نوع افت-متغیر

۳-۴ سامانه اندازه‌گیری برای فشار هیدرواستاتیک یا حجم نفوذ داده شده

۱-۳-۴ سامانه باز

سامانه اندازه‌گیری با زمان افت هیدرولیک در حال تغییر بوده و حجم آب نفوذ داده شده، به نفوذپذیری خاک بستگی دارد و باید دقتی بهتر از ۱٪ تغییر اندازه‌گیری شده داشته باشد. زمانی که از حلقه دوتایی استفاده می‌شود، افت هیدرولیکی باید در هر دو حلقه یکسان باشد.

۲-۳-۴ سامانه بسته

برای روش افت هیدرولیکی ثابت، از یک کنترل‌کننده حجم- فشار باید به منظور ثابت نگاه داشتن فشار هیدرواستاتیکی در حلقه اندازه‌گیری استفاده شود. تغییرات حجم آب نفوذ کرده باید با کنترل‌کننده حجم- فشار با دقت حداقل ۰/۱ میلی‌لیتر مورد اندازه‌گیری قرار گیرد. برای روش افت هیدرولیکی متغیر یک میله فشار یا

حسگر فشار برای اندازه‌گیری تغییرات افت هیدرولیکی درون لوله اندازه‌گیری با دقت برابر با ۱ میلی‌متر یا بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۴-۴ دستگاه اندازه‌گیری دما

اگر میزان گرانی مورد نیاز باشد می‌توان از دستگاه اندازه‌گیری دما برای ثبت دمای آب با دقت حد اقل ۰.۵ درجه سلسیوس استفاده نمود.

#### ۴-۵ مواد مورد نیاز

تنها آب صاف و تمیز، عاری از جامدات معلق باید مورد استفاده قرار گیرد. اگر مواد مسدودکننده برای نصب حلقه مورد نیاز باشد باید ترکیب آن مطابق با شرایط سایت آزمون تعیین شود.

#### ۵ روش انجام آزمون

##### ۱-۵ آماده‌سازی سطح آزمون

محدوده انجام آزمون باید به طور قابل توجهی از نفوذسنج بزرگتر باشد تا بتوان هرگونه نشی را مشاهده کرد. این سطح باید افقی، صاف، تمیز و منظم باشد.

##### ۲-۵ نصب حلقه یا حلقه‌ها

حلقه‌ها باید طوری نصب شوند که هیچ نشی نامطلوبی اتفاق نیفتد و محدوده نفوذ به خوبی مشخص باشد. یکی از روش‌های زیر باید مورد استفاده قرار گیرد:

۱-۲-۵ قراردادن حلقه در شیاری گود برداری شده، که سپس با بتونه و یا دوغاب‌کاری پر شود.

۲-۲-۵ فرورودن حداقل ۵ سانتی‌متری حلقه به درون زمین با استفاده از ضربات چکش یا وارد آوردن نیرو و فشار پایینی.

##### ۳-۵ روش انجام آزمون

##### ۱-۳-۵ کلیات

در زمان آزمون نظارت‌هایی باید برای شناسایی هرگونه نشی انجام پذیرد. اگر نشی اتفاق افتد آزمون باید متوقف شود، آب‌بندی باید بهبود بخشیده شود و سپس آزمون جدید انجام گردد. مدت زمان آزمون به نفوذپذیری و محتویات آب و میزان و درجه اشباع بودن خاک و نیز میزان هیدرولیک اعمال شده بستگی دارد.

۲-۳-۵ روش انجام آزمون با افت هیدرولیکی ثابت

اقدامات زیر باید انجام شوند:

##### ۱-۲-۳-۵ نصب

- حسگر دمای قرار گرفته در آب در حلقه درونی (اختیاری)؛

- دستگاه عایق‌سازی حرارت در بالای وسیله (اختیاری)؛
- سامانه‌ای برای کاربرد و اندازه‌گیری میزان هیدرولیک و حجم نفوذ داده شده.

۵-۳-۲-۲ پر کردن سلول آزمایش با آب تمیز  
سلول آزمون و لوله‌های اتصالی باید کاملاً اشباع شوند.

۵-۳-۲-۳ کاربرد میزان هیدرولیکی کمتر از ۱ متر مرجع اندازه‌گیری فشار، سطح خاک می‌باشد.

۵-۳-۲-۴ اندازه‌گیری حجم آب نفوذ داده شده

قدم اول در انجام آزمون حصول اطمینان از اشباع بودن خاک است. حد پایین این اشباع بودن باید تخمین زده شود. حجم‌های نفوذ داده شده در هر حلقه و یا حداقل در یک حلقه باید پس از فاز اشباع شدن اندازه‌گیری شوند تا سرعت نفوذ تقریباً ثابت گردد.

یادآوری- مدت زمان‌های توصیه شده برای فاز اشباع شدن و فاز اندازه‌گیری در پیوست ج به‌عنوان تابعی از محدوده ضریب نفوذپذیری ارائه شده است.

حجم نفوذ صورت گرفته و اندازه‌گیری‌های دما باید انجام شوند:

- یا به صورت دستی؛
  - یا با ثبت به وسیله واحد ثبت داده‌ها.
- هر قرائت باید شامل گذشته زمان شروع آزمون، مقدار حجم نفوذ داده شده، دما و میزان هیدرولیک باشد. این اندازه‌گیری‌ها باید به صورت نموداری ارائه شوند.

۵-۳-۳ روش انجام آزمون با افت هیدرولیکی متغیر  
عملیات متوالی باید انجام شوند:

۵-۳-۳-۱ نصب

- حسگر دمای قرار گرفته در آب در حلقه درونی (اختیاری)؛
- دستگاه عایق‌سازی حرارت در بالای وسیله (اختیاری)؛
- سامانه برای کاربرد و اندازه‌گیری افت هیدرولیکی و حجم نفوذ داده شده.

۵-۳-۳-۲ پر کردن سلول آزمون با آب تمیز. سلول آزمون و لوله‌های اتصالی باید کاملاً اشباع شوند.

۵-۳-۳-۳ اعمال افت هیدرولیک به مقدار ارتفاع که تامین آب و نفوذپذیری خاک را در نظر می‌گیرد. مرجع اندازه‌گیری افت هیدرولیکی، سطح خاک می‌باشد.

۵-۳-۳-۴ اندازه‌گیری ابتدای هیدرولیک و حجم نفوذ داده شده.

۵-۳-۳-۵ اندازه‌گیری‌ها باید بلافاصله پس از پرکردن نفوذسنج شروع شوند.

یادآوری- از آن‌جاکه تغییرات افت هیدرولیکی در زمان مراحل اولیه آزمون از اهمیت بالاتری برخوردار هستند، اندازه‌گیری‌ها در شروع آزمون متوالی‌تر هستند. مدت زمان آزمون به نفوذپذیری خاک بستگی دارد.

#### ۴-۵ متوقف کردن نفوذسنج

زمانیکه آزمون تمام شد عملیات زیر را باید بلافاصله انجام داد:

۵-۴-۱ نفوذسنج باید با دقت خارج شود به طوری که از آسیب رساندن به خاک آزمون شده جلوگیری شود.

۵-۴-۲ خاک برای به دست آوردن ویژگی حالت فیزیکی مواد آزمون شده، نمونه‌برداری شود.

۵-۴-۳ مشاهدات چشمی یا تهیه عکس‌ها.

برای تفسیر نتایج آزمون، عمق ناحیه نفوذ داده شده، گسترش منطقه اشباع شده که در زمان آزمون ایجاد شده و نیز تخلخل و درجه نهایی و آغازین اشباع شدن در بخش عمودی خاک که از آزمون تاثیر پذیرفته نیز باید با نمونه‌برداری تعیین شود.

#### ۶ بیان نتایج آزمون

نتایج آزمون عبارتند از:

۶-۱ برای روش افت هیدرولیکی ثابت: حجم‌های نفوذ داده شده به عنوان تابعی از زمان.

۶-۲ برای روش افت هیدرولیکی متغیر: افت هیدرولیکی تابعی از زمان است.

به‌علاوه حجم‌های ثبت شده را باید روی گراف ترسیم کرد (پیوست الف را ببینید).

نتایج آزمون را می‌توان برای ارزیابی موارد زیر مورد استفاده قرار داد:

الف) برای روش افت هیدرولیکی ثابت:

- میزان جریان سطح (یا سرعت نفوذ کردن) برای افت هیدرولیک مشخص شده.

- ضریب نفوذپذیری  $k$  از رابطه بین نرخ جریان سطح و اندازه افت هیدرولیک.

ب) برای روش افت هیدرولیکی متغیر:

- ضریب نفوذپذیری  $k$  باید از تغییرات سطح آب مشاهده شده در طول آزمون تعیین شود.

یادآوری- روش‌های تعیین این پارامترها در پیوست ج ارایه شده است.



## ۷ گزارش‌های آزمون

### ۱-۷ گزارش آزمون میدانی

#### ۱-۱-۷ کلیات

در محل پروژه، گزارشی میدانی باید تکمیل شود. این گزارش باید در صورت امکان از موارد زیر تشکیل شده باشد:

۱-۱-۱-۷ خلاصه ثبت وقایع گمانه مطابق با استاندارد بند ۲-۲؛

۲-۱-۱-۷ ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و سایر مشاهدات چشمی طبق بند ۲-۱-۷.

تمام بررسی‌های میدانی باید طوری گزارش می‌شود که شخص ثالث بتواند نتایج را بررسی و درک کند.

#### ۲-۱-۷ ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و سایر مشاهدات چشمی

ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و سایر مشاهدات چشمی را باید به خلاصه ثبت وقایع پیوست کرد و در صورت امکان موارد زیر را در بر داشته باشد:

۱-۲-۱-۷ نام آزمایشگاه انجام دهنده آزمون؛

۲-۲-۱-۷ نام متقاضی؛

۳-۲-۱-۷ زمان و تاریخ‌های آزمون؛

۴-۲-۱-۷ نام و شماره پروژه؛

۵-۲-۱-۷ شماره آزمون؛

۶-۲-۱-۷ شماره استاندارد ملی.

#### ۷-۲-۱-۷ ثبت شرایط سطحی و آماده‌سازی منطقه آزمون:

۱-۷-۲-۱-۷ مکان سایت آزمون، توصیف موقعیت سطح؛

۲-۷-۲-۱-۷ آماده‌سازی سطح؛

۳-۷-۲-۱-۷ شرایط آب و هوایی؛

۸-۲-۱-۷ توصیف وسایل آزمون؛

۱-۸-۲-۱-۷ بیان نوع نفوذسنج مورد استفاده و در صورت امکان نام تجاری آن، نوع اندازه‌گیری و نوع کنترل کننده حجم-فشار؛

۲-۸-۲-۱-۷ ویژگی‌های هندسی دستگاه؛

۹-۲-۱-۷ مرجع و داده مرتبط با راهکار آزمون؛

۱-۹-۲-۱-۷ روش نصب حلقه یا حلقه‌ها در زمین؛

۲-۹-۲-۱-۷ راهکار عایق‌سازی قبل از انجام آزمون واقعی (مدت زمان، حجم‌های نفوذ داده‌شده)؛

۳-۹-۲-۱-۷ ماهیت آب مورد استفاده شده؛

۴-۹-۲-۱-۷ اجرای آزمون (اتفاقات و رویدادهای احتمالی و غیره)؛

۵-۹-۲-۱-۷ ثبت نمونه برداری؛

۶-۹-۲-۱-۷ مشاهدات چشمی پس از آزمون شرایط زمینی؛

۷-۹-۲-۱-۷ عکسهای محیط و محل آزمون (اختیاری)؛

۱۰-۲-۱-۷ ثبت اندازه‌گیری‌ها؛

۱-۱۰-۲-۱-۷ تمام اندازه‌گیری‌های خام مرتبط با نفوذ دادن و کردن (ابتدای هیدرولیک، حجم‌ها)؛

۲-۱۰-۲-۱-۷ مشاهداتی که در زمان آزمون اتفاق افتاده ممکن است بر نتایج آزمون تأثیر داشته باشد؛

۳-۱۰-۲-۱-۷ نام و امضای آزمون‌کننده.

## ۲-۷ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید از اطلاعات ضروری زیر تشکیل شده باشد:

۱-۲-۷ گزارش آزمون میدانی (به شکل خطی و یا رایانه‌ای)؛

۲-۲-۷ بازنمایی گرافیکی نتایج آزمون.

۳-۲-۷ مقدار ضریب نفوذپذیری؛

۴-۲-۷ نام و امضای مسؤل آزمایشگاه.

# پیوست الف (اطلاعاتی)

## ثبت مقادیر اندازه گیری شده و نتایج آزمون نفوذسنج

شماره ثبت:	شماره آزمون مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۶۱-۵	آزمایشگاه:																																																																																																																																																																																																																																										
حلقه مضاعف باز نفوذسنج (آزمون افت ثابت)																																																																																																																																																																																																																																												
مشخصات دستگاه: نوع کنترل کننده حجم فشار:																																																																																																																																																																																																																																												
مشتري: مکان: تاریخ: آزمون کننده: خاصیت خاک:																																																																																																																																																																																																																																												
حلقه نصب شده																																																																																																																																																																																																																																												
<input type="checkbox"/> آب بند <input type="checkbox"/> قرار دادن <input type="checkbox"/> چکش کاری																																																																																																																																																																																																																																												
	زمان	حجم قرائت شده	$T^0$	0V	نرخ جریان																																																																																																																																																																																																																																							
$D_1$ : سانتی متر	$D_2$ : سانتی متر																																																																																																																																																																																																																																											
$h$ : سانتی متر																																																																																																																																																																																																																																												
$Z_p$ : سانتی متر																																																																																																																																																																																																																																												
مجموع حجم فیلتر شده:    سانتی متر مکعب																																																																																																																																																																																																																																												
اندازه گیری اضافی																																																																																																																																																																																																																																												
<input type="checkbox"/> رطوبت برش عمودی <input type="checkbox"/> نمونه برداری																																																																																																																																																																																																																																												
$Z_w$ : میلی متر																																																																																																																																																																																																																																												
نرخ جریان نهایی:    متر بر ثانیه																																																																																																																																																																																																																																												
$k$ ضریب نفوذپذیری :    متر بر ثانیه																																																																																																																																																																																																																																												
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="text-align: right; margin-right: 5px;"><math>V</math> (<math>cm^3</math>)</div> <table border="1" style="width: 100%; height: 200px; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr> </table> <div style="margin-left: 5px; text-align: right; margin-top: 5px;">t (hours)</div> </div>																																																																																																																																																																																																																																												

روش آزمون مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۶۱-۵	شماره ثبت:	آزمایشگاه:																																																																																																																			
حلقه نفوذسنج محکم بسته شده (آزمون افت ثابت)																																																																																																																					
<p>مشخصات دستگاه:            نوع کنترل کننده حجم فشار:            حلقه نصب شده  <input type="checkbox"/> آب بند      <input type="checkbox"/> قرار دادن      <input type="checkbox"/> چکش کاری</p>	<p>مشتری:            مکان:            تاریخ:            آزمون کننده:            خاصیت خاک:</p>																																																																																																																				
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>زمان</th> <th>حجم قرائت شده</th> <th>T<sup>0</sup></th> <th>0V</th> <th>نرخ جریان</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	زمان	حجم قرائت شده	T <sup>0</sup>	0V	نرخ جریان																																																																																																															
زمان	حجم قرائت شده	T <sup>0</sup>	0V	نرخ جریان																																																																																																																	
$h_0$ سانتی متر	$D$ : سانتی متر																																																																																																																				
	$Z_p$ : سانتی متر																																																																																																																				
	مجموع حجم فیلتر شده:      سانتی متر مکعب																																																																																																																				
اندازه گیری اضافی <input type="checkbox"/> رطوبت برش عمودی <input type="checkbox"/> نمونه برداری																																																																																																																					
$Z_w$ : میلی متر																																																																																																																					
نرخ جریان نهایی:      متر بر ثانیه																																																																																																																					
$k$ ضریب نفوذپذیری:      متر بر ثانیه																																																																																																																					

روش آزمون مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۶۱-۵	شماره ثبت:	آزمایشگاه:			
حلقه نفوذسنج محکم بسته شده (آزمون افت ثابت)					
مشخصات دستگاه: نوع کنترل کننده حجم فشار:	مشتری: مکان: تاریخ: آزمون کننده: خاصیت خاک:				
حلقه نصب شده <input type="checkbox"/> آب بند <input type="checkbox"/> قرار دادن <input type="checkbox"/> چکش کاری					
	زمان	حجم قرائت شده	T <sup>0</sup>	0V	نرخ جریان
D: سانتی متر    h: سانتی متر					
Z <sub>p</sub> : سانتی متر					
مجموع حجم فیلتر شده: سانتی متر مکعب					
اندازه گیری اضافی <input type="checkbox"/> رطوبت برش عمودی <input type="checkbox"/> نمونه برداری					
Z <sub>w</sub> : میلی متر					
نرخ جریان نهایی: متر بر ثانیه					
k ضریب نفوذپذیری: متر بر ثانیه					

پیوست ب

(اطلاعاتی)

### تصحیح تاثیر تغییرات دما

دبی جریان سطحی نفوذ کرده آب به درون خاک مستقیماً با گرانشی آب در ارتباط است. هرچه میزان گرانشی آب بالاتر باشد نرخ عبور جریان نیز پایین تر خواهد بود. لذا هنگامی که اندازه گیری ها در دماهای مختلفی انجام می شوند مقادیر محاسبه شده  $\nu$  یا  $k$  باید با دمای مرجع مورد تصحیح قرار گیرد. دمای مرجع معمولاً ۲۰ درجه سلسیوس است که میزان گرانشی دینامیک آب برای آن ۰٫۱ mPa.s می باشد. رابطه عمومی بین میزان گرانشی دینامیکی، نفوذپذیری و دما به وسیله معادله زیر داده شده است:

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad \text{معادله ب-۱}$$

که در آن:

$k_{20}$  نفوذپذیری در دمای ۲ درجه سلسیوس است.

$k_T$  نفوذپذیری در دمای  $T$  درجه سلسیوس است.

$\eta_{20}$  گرانشی دینامیکی در ۲ درجه سلسیوس است.

$\eta_T$  گرانشی دینامیکی در دمای  $T$  است.

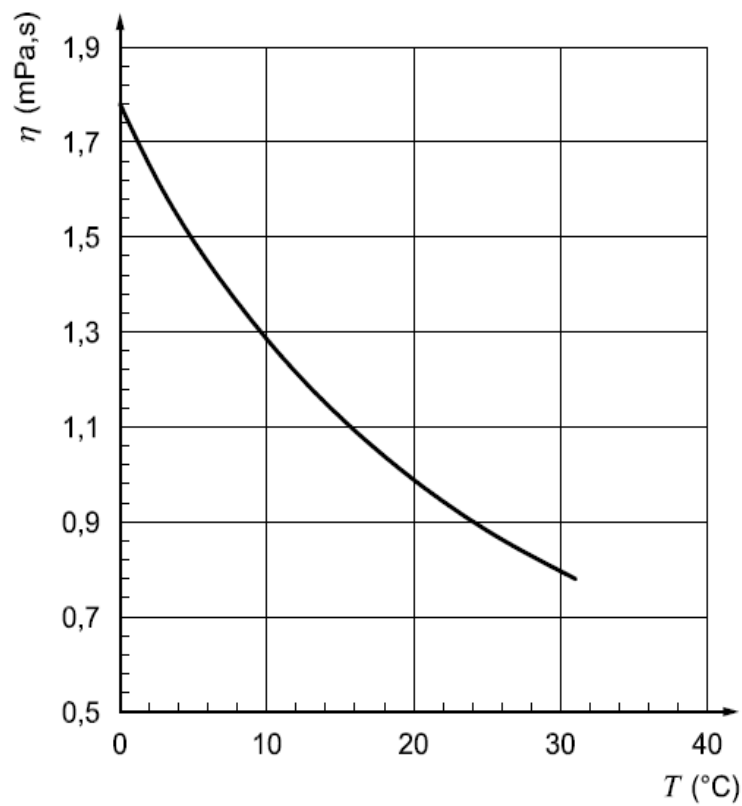
مقادیر  $\eta_T$  در جدول شکل ب ۱ داده شده است (مقادیر در فشار اتمفسری).

تخمین تقریبی از قانون تغییرپذیری  $\eta_T$  را می توان به صورت عبارت زیر ارائه کرد:

$$\frac{\eta_T}{\eta_{20}} = \exp[2,44 \cdot 10^{-2} (20 - T) + 1,8 \cdot 10^{-4} (20 - T)^2 + 2,5 \cdot 10^{-6} (20 - T)^3] \quad \text{معادله ب-۲}$$

که در آن:

$T$  دمای آب بر حسب درجه سلسیوس در محدوده نفوذ کرده است.



$T$ (°C)	$\eta$ (mPa.s)	$T$ (°C)	$\eta$ (mPa.s)
0	1,787	16	1,109
1	1,728	17	1,081
2	1,671	18	1,053
3	1,618	19	1,027
4	1,567	20	1,002
5	1,519	21	0,978
6	1,472	22	0,955
7	1,428	23	0,932
8	1,386	24	0,911
9	1,346	25	0,890
10	1,307	26	0,870
11	1,271	27	0,851
12	1,235	28	0,833
13	1,202	29	0,815
14	1,169	30	0,797
15	1,139	31	0,781

شکل ب-۱- تغییرات گرانشی دینامیکی  $\eta$  آب در فشار اتمسفر

پیوست پ  
(اطلاعاتی)  
تعیین نفوذ پذیری

پ-۱ روش افت هیدرولیکی ثابت

آزمون از دو مرحله تشکیل شده است:

یک فاز اشباع مقدماتی به مدت حداقل  $t_{min}$ .

فاز اندازه گیری برای محاسبه دبی جریان تثبیت شده  $v$ .

کمترین زمان لازم جهت انجام فاز اشباع و فاز اندازه گیری با توجه به جداول پ ۱ و پ ۲ تخمین زده می شوند:

جدول پ-۱- کمترین زمان لازم برای فاز اشباع نمودن دستگاه های باز

تخمین ضریب نفوذ پذیری $k$ متر بر ثانیه				
$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	
۶	۲	۰٫۶	۰٫۲	$t_{min}$ (ساعت)
۲	۰٫۶	۰٫۳	۰٫۱	حداقل مدت اندازه گیری مرحله (ساعت)
$\pm 0.5$ سانتی متر مکعب	$\pm 1.0$ سانتی متر مکعب	$\pm 2.0$ سانتی متر مکعب	$\pm 2.0$ سانتی متر مکعب	پیشنهاد خطای احتمالی برای دستگاه اندازه گیری حجم

جدول پ-۲- کمترین زمان لازم برای فاز اشباع نمودن دستگاه های بسته (حداکثر افت هیدرولیک : ۱ متر)

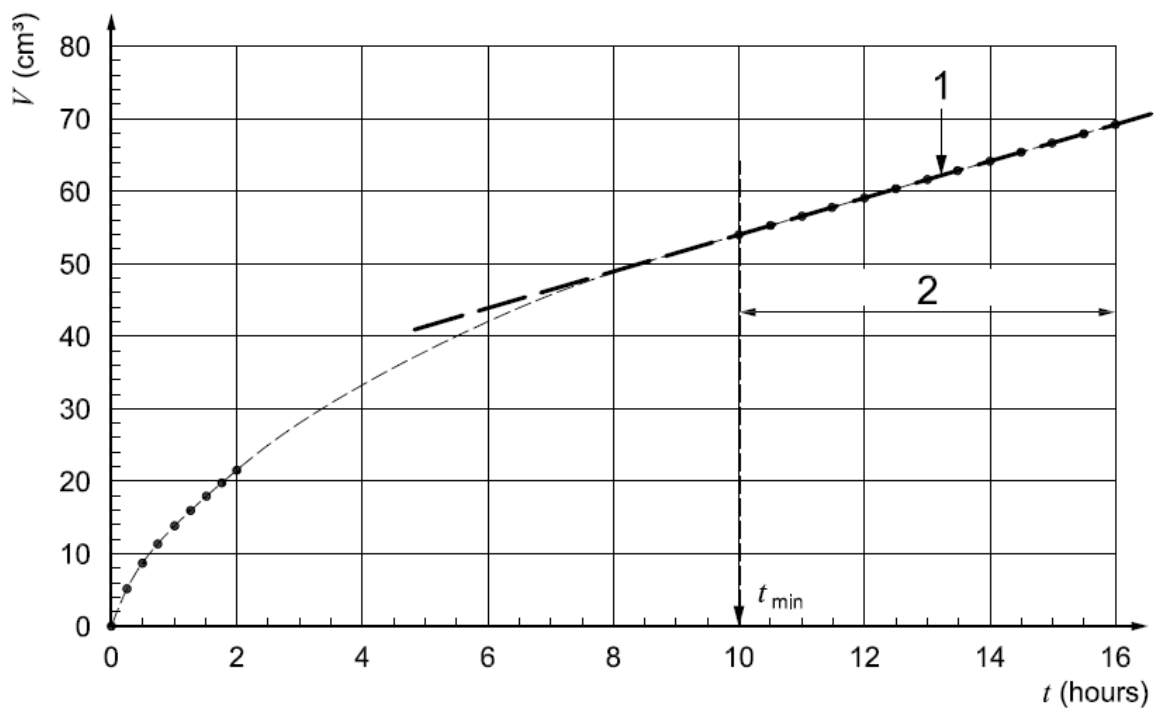
تخمین ضریب نفوذ پذیری $k$ متر بر ثانیه			
$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	
۲۰	۱۰	۳	$t_{min}$ (ساعت)
۸	۴	۱	حداقل مدت اندازه گیری مرحله (ساعت)
$\pm 0.1$ سانتی متر مکعب	$\pm 0.2$ سانتی متر مکعب	$\pm 0.5$ سانتی متر مکعب	پیشنهاد خطای احتمالی برای دستگاه اندازه گیری حجم



فاز اندازه‌گیری در بازه‌ی زمانی  $\Delta t$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$v = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t} \quad \text{معادله پ-۱}$$

$\Delta t$  و  $\Delta v$  برابر با انتهای آزمون هستند وقتی که جریان نزدیک به حالت ایستا می‌باشد (شکل پ ۱ را ببینید). مقادیر  $V$  برای تاثیرات دما در صورت نیاز تصحیح می‌شوند (پیوست الف را ببینید).



راهنما

- ۱- حالت پایدار
- ۲- فاز اندازه‌گیری

شکل پ ۱- منحنی حجم نفوذ داده شده به عنوان تابعی از زمان

رابطه بین سرعت نفوذ  $v$  و میزان هیدرولیکی  $i$  به وسیله قانون دارسی توضیح داده می‌شود:

$$v = ki \quad \text{معادله پ-۲}$$

$$i = (Z_w + h)/z_w \quad \text{معادله پ-۳}$$

که در آن:

$H$  عبارت است از میزان هیدرولیک ثابت؛  
 $Z_w$  ضخامت اشباع شده‌ای است که از طریق آن عبور جریان اتفاق می‌افتد؛  
 $Z_w$  به صورت تجربی و آزمایشی در انتهای آزمون به وسیله نمونه‌برداری (عمق نقطه خمش منحنی نیم‌رخ اشباع، شکل پ ۲ را ببینید) تعیین می‌شود.  
 تعیین نظری را نیز می‌توان با استفاده از معادله زیر به دست آورد:

$$Z_w = V/(A \Delta\theta) \quad \text{معادله پ-۴}$$

که در آن:

$V$  حجم کل نفوذ داده شده در تمام مدت زمان آزمون است (شامل فاز اشباع و فاز اندازه‌گیری)؛  
 $A$  مساحت سطح نفوذ آب؛  
 $\Delta\theta$  تفاضل بین درصد رطوبت حجمی خاک اشباع شده و درصد رطوبت اولیه حجمی خاک است.  
 تفسیر مستلزم تعیین قبلی  $\Delta\theta$  است.

$$\Delta\theta = \theta_s - \theta_i \quad \text{معدله پ-۵}$$

درصد رطوبت حجمی اولیه خاک  $\theta_i$  را با اندازه‌گیری رطوبت ثقلی اولیه خاک ( $w_i$ ) و دانسیته خشک خاک به دست می‌آوریم.

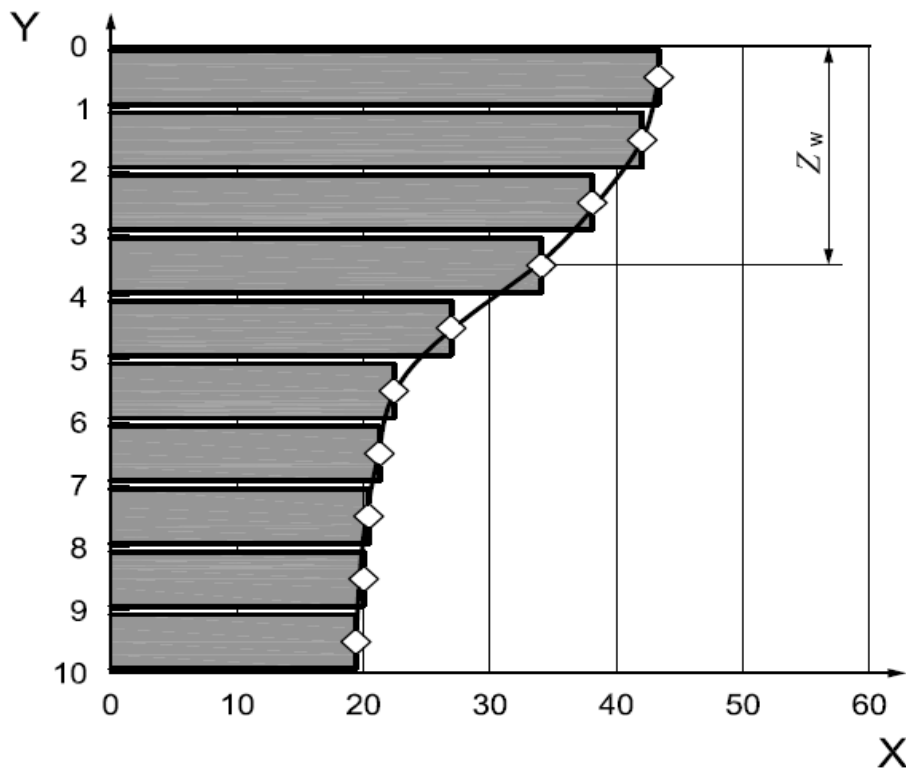
$$\theta_i = w_i \times \frac{\rho_d}{\rho_w} \quad \text{معادله پ-۶}$$

در این رابطه  $\Delta s$  را می‌توان از رابطه زیر تعیین کرد:

$$\theta_s = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad \text{معادله پ-۷}$$

که در آن:

$\rho_s$  برابر است با دانسیته ذرات: (که می توان مقدار تقریبی  $2.65\text{g/cm}^3$  را در نظر گرفت).  
 بیشترین مقدار  $Z_w$  حاصله از آزمون ها و روابط تجربی به منظور محاسبه ضریب نفوذپذیری مورد استفاده قرار می گیرد.



راهنما  
 X محتوی رطوبت (درصد)  
 Y عمق (سانتی متر)

شکل پ ۲- نمونه ای از پروفیل درصد رطوبت حجمی که پس از آزمون اندازه گیری شده اند.

### پ-۲ روش افت هیدرولیکی متغیر

معادله ای که در زیر ارائه شده زمان را با میزان هیدرولیک اندازه گیری شده مربوط می سازد و تغییرپذیری میزان هیدرولیکی به مرور زمان را در نظر می گیرد:

$$t = \left(\frac{S_s}{S_1}\right)^2 \frac{h_0 - h(t)}{k \left(\frac{S_s}{S_1} - \Delta\theta\right)} + \left(\frac{S_s}{S_1}\right)^2 \frac{\Delta\theta(\psi_f - h_0)}{k \left(\frac{S_s}{S_1} - \Delta\theta\right)^2} \ln \left[ \frac{\left(\frac{S_s}{S_1} - \Delta\theta\right)[h_0 - h(t)]}{\Delta\theta (h_0 - \psi_f)} + 1 \right] \quad \text{معادله پ-۸}$$

که در آن:

$t$  زمانی است که در آن سطح آب جمع شده اندازه گرفته می شود؛

$S_s$  سطح مقطع از لوله است که در آن حجم آب تغییر می کند؛  
 $S_1$  سطح مقطع نفوذسنج است؛  
 $h_0$  آب جمع شده در شروع آزمون؛  
 $k$  ضریب نفوذپذیری میدانی اشباع شده (نفوذپذیری هیدرولیکی)؛  
 $\Psi_f$  میزان مکش در ناحیه نفوذ؛  
 $\Delta\theta$  تفاوت بین محتوای آب (درصد رطوبت) حجمی اشباع شده و محتوای حجمی (درصد رطوبت) آب اولیه خاک آزمون شده.

یادآوری ۴- هنگامی که مکش در ناحیه نفوذ دادن نادیده گرفته می شود تخمین حد بالا اندکی از  $k$  وجود خواهد داشت.

تفسیر مستلزم تخمین  $\Delta\theta$  است. به عبارت دیگر تفاوت بین محتوای آب (درصد رطوبت) حجمی خاک اشباع شده و محتوای آب حجمی (درصد رطوبت) خاک اولیه.

$$\Delta\theta = \theta_s - \theta_i \quad \text{معادله پ-۹}$$

درصد رطوبت حجمی اولیه خاک  $\theta_i$  را با اندازه گیری رطوبت ثقلی اولیه خاک ( $w_i$ ) و دانسیته خشک خاک به دست می آوریم.

$$\theta_i = w_i \times \frac{\rho_d}{\rho_w} \quad \text{معادله پ-۱۰}$$

از دو روش زیر می توان برای تعیین محتوای (درصد رطوبت) آب حجمی اشباع شده استفاده نمود. کاربرد هر دو روش برای اعمال معادله پ ۸ بیانگر عدم قطعیت تعیین ضریب نفوذپذیری می باشد.  
 a)  $\theta_s$  را می توان به روش زیر به دست آورد:

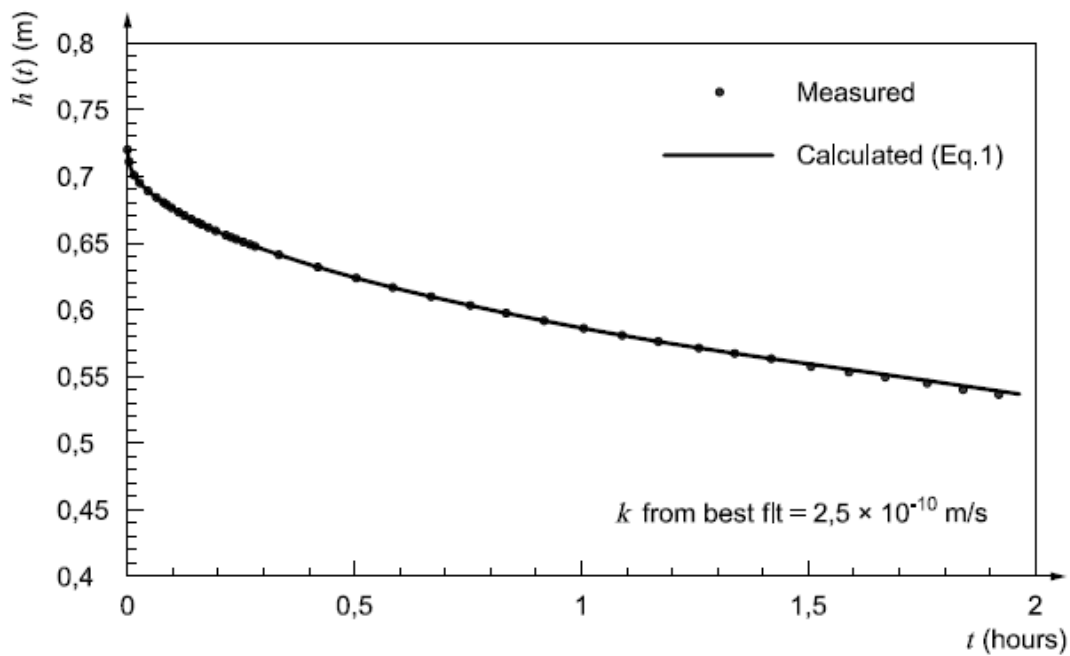
$$\theta_s = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad \text{معادله پ-۱۱}$$

که در آن:

$\rho_s$  برابر است با دانسیته ذرات: (که می توان مقدار تقریبی  $2.65 \text{ g/cm}^3$  را در نظر گرفت).  
 $\theta_s$  را می توان از عمق محدوده نفوذ کردن  $Z_w$  که پس از آزمون اندازه گیری می شود به دست آورد. البته با داشتن حجم آب نفوذ کرده در خاک در طول آزمون ( $V$ ):

$$\theta_s = \frac{V}{Z_w A} \quad \text{معادله پ-۱۲}$$

با داشتن مقادیر  $\Delta\theta$  ضریب نفوذپذیری در معادله ارایه شده متغیر می‌شود تا جایی که یک هماهنگی کامل بین مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده میزان هیدرولیکی ایجاد شود.



شکل ج ۳- نمونه‌ای از تطابق بین منطقه اندازه‌گیری شده و مقادیری که با استفاده از معادله پ ۸ برای تعیین ضریب نفوذپذیری  $k$  محاسبه شده است.

پوست ت  
(اطلاعاتی)  
کتابنامه

- [1] ISO 14688-1, Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil - Part 1: Identification and description.
- [2] EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules.
- [3] EN 1997-2, Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing.