



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۷۸۸۷-۲

چاپ اول

۱۳۹۳

INSO

17887-2

1st.Edition

2014

آزمون و تحقیقات خاک و پی  
- آزمون ژئوهیدرولیک  
- قسمت ۲: آزمون‌های نفوذپذیری آب در  
یک گمانه آزمایشی با استفاده از  
سامانه‌های باز

**Geotechnical investigation and testing -  
Geohydraulic testing -  
Part 2: Water permeability tests in a  
borehole using open systems**

**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 حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود 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، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

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

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

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

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

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

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد  
«آزمون و تحقیقات خاک و پی - آزمون ژئوهیدرولیک - قسمت ۲: آزمون‌های نفوذپذیری آب در  
یک گمانه بااستفاده از سامانه‌های باز»

**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)

کارشناس اداره کل استاندارد استان سمنان

**اعضا:**(اسامی به ترتیب حروف الفبا)

جعفری ایوری، سید علی  
(کارشناس عمران)

کارشناس مسئول صنایع برق، مکانیک و ساختمان  
اداره کل استاندارد استان گلستان

خدام عباسی، روح الله  
(کارشناس فیزیک)

کارشناس اداره کل استاندارد استان سمنان

رخشانی، حسین  
(کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی)

نماینده شرکت اکتشافاتی نفتی رضی

طیبان، محمدرضا  
(کارشناس عمران)

کارشناس اداره کل استاندارد استان سمنان

نعیمی، رضا  
(کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی)

مدیرکنترل کیفیت شرکت گچ سمنان پارس

یغمایی، فرزاد  
(کارشناس عمران)

کارشناس اداره کل استاندارد استان سمنان

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ه	پیش‌گفتار
و	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و یکاها
۱	۱-۳ اصطلاحات و تعاریف
۱	۲-۳ نمادها و یکاها
۲	۴ اصول آزمون
۳	۵ وسایل
۳	۶ روش انجام آزمون
۳	۱-۶ آماده‌سازی مقطع آزمون
۹	۲-۶ روش انجام آزمون
۱۰	۷ بیان نتایج آزمون
۱۰	۱-۷ روش انجام آزمون نرخ جریان ثابت
۱۰	۲-۷ روش انجام آزمون افت متغیر
۱۱	۳-۷ روش انجام آزمون افت ثابت
۱۱	۸ گزارش‌ها
۱۱	۱-۸ گزارش آزمون میدانی
۱۳	۲-۸ گزارش آزمون
۱۴	پیوست الف (اطلاعاتی) مثالی از ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج آزمون
۱۵	پیوست ب (اطلاعاتی) تفسیر نتایج آزمون
۲۹	پیوست پ (اطلاعاتی) کتابنامه

## پیش گفتار

استاندارد «آزمون و تحقیقات خاک و پی - آزمون ژئوهیدرولیک- قسمت ۲: آزمون‌های نفوذپذیری آب در یک گمانه با استفاده از سامانه‌های باز» 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 سازمان ملی استاندارد 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 ارایه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

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

ISO 22282-2:2012, Geotechnical investigation and testing - Geohydraulic testing - Part 2: Water permeability tests in a borehole using open systems

## مقدمه

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

## آزمون و تحقیقات خاک و پی - آزمون ژئوهیدرولیک - قسمت ۲: آزمون‌های نفوذپذیری آب در یک گمانه با استفاده از سامانه‌های باز

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات مورد نظر برای تعیین نفوذپذیری محلی خاک‌ها و صخره‌های زیر و روی تراز آب زیرزمینی در یک گمانه باز توسط آزمون‌های نفوذپذیری به عنوان بخشی از خدمات مطالعاتی ژئوتکنیکی مطابق با استانداردهای بند ۲-۳ و ۲-۴ است.

### ۲ مراجع الزامی

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

۱-۲ 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 for execution

2-3 EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical design — Part 1: General rules

2-4 EN 1997-2, Eurocode 7: Geotechnical design — Part 2: Ground investigation and testing

2-5 ISO 14688-1, Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil - Part 1: Identification and description

2-6 ISO 14689-1, Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of rock - Part 1: Identification and description

### ۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و یکاها

#### ۱-۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در بند ۲-۱ و ۲-۲ 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	عنوان	واحد
$A_c$	مساحت سطح مقطع داخلی جدار	$m^2$
$A_r$	مساحت سطح آب در مخزن	$m^2$
$D$	قطر گمانه، قطر مقطع آزمون	m
$F$	ضریب شکل	m
$h$	افت هیدرولیکی آزمون	m
$h_1, h_2, h_3$	افت‌های هیدرولیکی اعمال شده	m
$h_o$	فاصله تراز آب از تراز زمین	m
$\Delta h$	تغییر در افت هیدرولیکی	m
$k$	ضریب نفوذپذیری	m/s
$k_{fs}$	ضریب نفوذپذیری اشباع میدان	m/s
$L$	طول (ارتفاع) مقطع آزمون	m
$Q$	نرخ جریان (دبی)	$m^3/s$
$r$	شعاع	-
$S$	ضریب ذخیره	-
$T$	قابلیت نقل و انتقال	-
$t_i$	زمان مورد نیاز برای رسیدن به تعادل	s
$t$	زمان	s
$t_o$	زمان شروع آزمون	s
$\dot{V}$	نرخ جریان حجمی	

#### ۴ اصول آزمون

آزمون مبتنی بر این فرض است که مقطع آزمون مجزا شده بالا یا پایین سطح آب‌های زیرزمینی قرار دارد. نتایج بسته به نوع آزمون انتخاب شده (خارج کردن یا تزریق آب)، مطابق با هدف آزمون می‌تواند تغییر کند.

سه روش آزمون موجود است:

۱-۴ روش آزمون با نرخ جریان ثابت (برای مقدار  $k$  بزرگ‌تر از  $10^{-6}$  m/s مناسب است)

این آزمون شامل ایجاد تغییر در افت هیدرولیکی در مقطع گمانه با نرخ جریان ثابت تزریق یا خارج کردن است. تغییر در افت هیدرولیکی برحسب زمان اندازه‌گیری می‌شود.



۲-۴ روش آزمون با شیب متغیر (برای مقدار  $k$  بین  $10^{-6} \text{ m/s}$  و  $10^{-9} \text{ m/s}$  مناسب است)  
این آزمون شامل ایجاد تغییر لحظه‌ای افت هیدرولیکی در مقطع گمانه است. نرخ جریان بر حسب زمان اندازه-گیری می‌شود.

۳-۴ روش آزمون با شیب ثابت (برای مقدار  $k$  بین  $10^{-4} \text{ m/s}$  و  $10^{-7} \text{ m/s}$  مناسب است)  
این آزمون شامل حفظ افت هیدرولیکی ثابت در مقطع گمانه است. نرخ جریان بر حسب زمان اندازه‌گیری می‌شود.

## ۵ وسایل

- علاوه بر یک جدار یا یک فشارسنج، وسایل زیر لازم است:
- ۱-۵ میله صاف برای آزمون شیب نزولی؛
  - ۲-۵ سامانه پمپاژ یا انتقال برای آزمون شیب صعودی؛
  - ۳-۵ دستگاهی برای تعیین نرخ جریان با دقت  $\pm 5\%$  گستره اندازه‌گیری برای شیب ثابت و جریان ثابت؛
  - ۴-۵ دستگاهی برای حفظ نرخ جریان برای روش نرخ جریان ثابت؛
  - ۵-۵ لوله سوراخ‌دار و/ یا ماده فیلتر (برای معیار فیلتر، استاندارد بند ۳-۲ را ملاحظه کنید)؛
  - ۶-۵ وسیله اندازه‌گیری تراز آب در لوله جداری یا فشارسنج<sup>۱</sup> با دقت  $\pm 0.01 \text{ m}$ ؛
  - ۷-۵ وسیله اندازه‌گیری و / یا ثبت زمان، با قابلیت خوانش بر حسب ثانیه.
- تمامی وسایل اندازه‌گیری باید مطابق با کاربرد آن‌ها، به شکل دوره‌ای یا پیش از استفاده، واسنجی شده باشند.

## ۶ روش انجام آزمون

### ۱-۶ آماده سازی مقطع آزمون

#### ۱-۱-۶ عمومی

مقطع آزمون باید مطابق با پیوست الف استاندارد بند ۲-۶ آماده‌سازی شود.

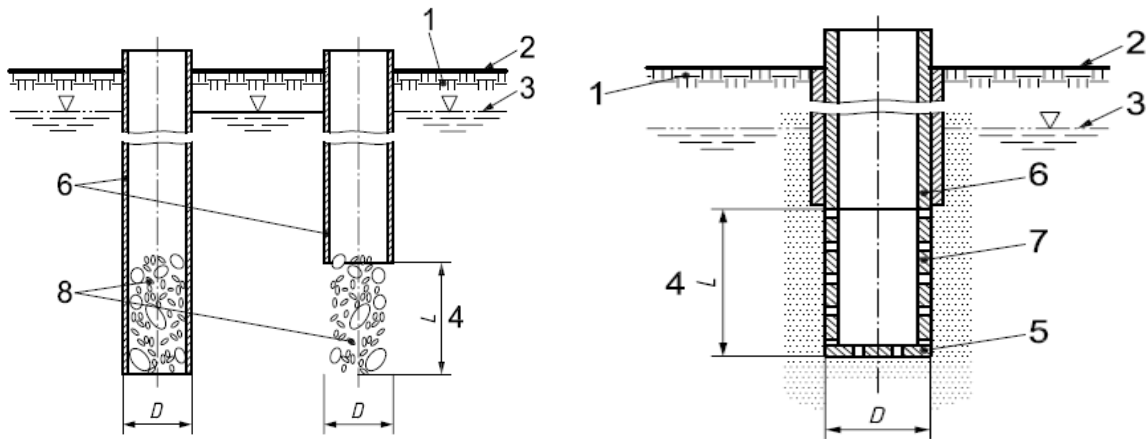
۲-۱-۶ آماده‌سازی یک مقطع آزمون در خاک و تخته سنگ ناپایدار زیر سطح آب‌های زیرزمینی  
حفاری باید با استفاده از یک لوله جداری انجام شود. پس از حفاری مقطع آزمون و تمیزکاری گمانه، مقطع آزمون باید مطابق با یکی از سه پیشنهاد زیر آماده‌سازی شود (شکل ۱ را ببینید):

۱-۲-۱-۶ یک لوله سوراخ‌دار که توسط یک دیسک سوراخ‌دار یا بسته در انتهای آن، مسدود شده است، باید در سرتاسر لوله جداری در مقطع آزمون نصب شود (شکل الف ۱ را ببینید). پس از آن لوله جداری باید به اندازه طول  $L$  کمی بالای لبه فوقانی مقطع سوراخ‌دار بیرون کشیده شود.

۲-۲-۱-۶ پیش از بیرون کشیدن لوله جداری، مقطع آزمون باید با یک فیلتر مناسب پر شود. پس از آن لوله جداری باید تا لبه بالایی فیلتر بالا کشیده شود (شکل ب را ببینید).

۳-۲-۱-۶ آزمون انتهایی باز- آزمون در کف جداری سراسر مقطع باز، با قطر  $D$  انجام می‌شود (شکل ج را ببینید).

یادآوری- اگر انتهای گمانه‌ها را نتوان تمیز کرد، یک دیسک کامل را می‌توان در انتهای لوله به کار برد. در این حالت، یک ضریب شکل خاص به کار می‌رود (مطابق استاندارد بند ۲-۳).



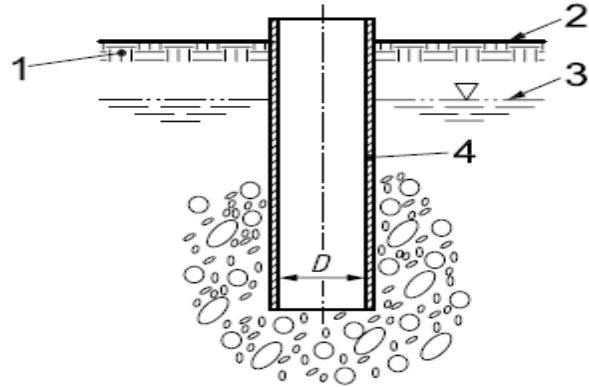
ب) با مصالح فیلتر

الف) با لوله سوراخ‌دار

راهنما:

- ۱ زمین
- ۲ سطح بالایی
- ۳ سطح آب‌های زیرزمینی
- ۴ مقطع آزمون
- ۵ دیسک سوراخ‌دار یا بسته
- ۶ جدار
- ۷ لوله سوراخ‌دار
- ۸ بسته فیلتر
- $L$  طول مقطع آزمون
- $D$  قطر مقطع آزمون

شکل ۱- مقطع آزمون در خاک و تخته سنگ ناپایدار



ج) آزمون انتهایی باز

راهنما:

- ۱ زمین
- ۲ سطح بالایی
- ۳ سطح آبهای زیر زمینی
- ۴ جدار
- D قطر مقطع آزمون

شکل ۱ - ادامه

### ۳-۱-۶ آماده‌سازی مقطع آزمون در خاک و تخته سنگ پایدار

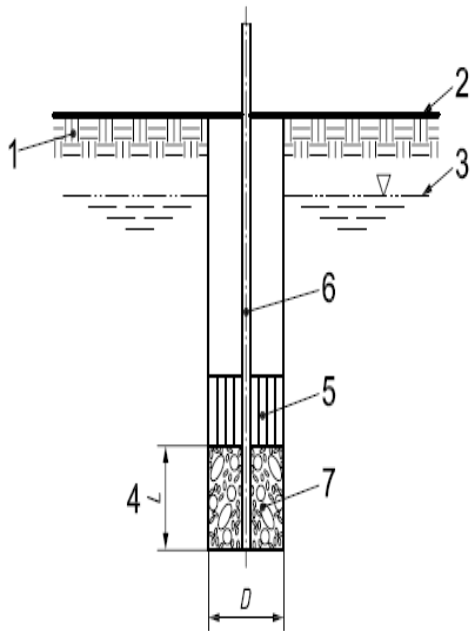
پس از حفاری مقطع آزمون و تمیزکاری گمانه، مقطع آزمون باید مطابق با یکی از پیشنهادهای زیر آماده‌سازی شود (شکل ۲ را ببینید):

۳-۱-۶-۱ یک پرکن بالای مقطع آزمون متورم می‌شود (شکل ۲ الف). یک لوله سوراخ‌دار را می‌توان زیر پرکن به کار گرفت.

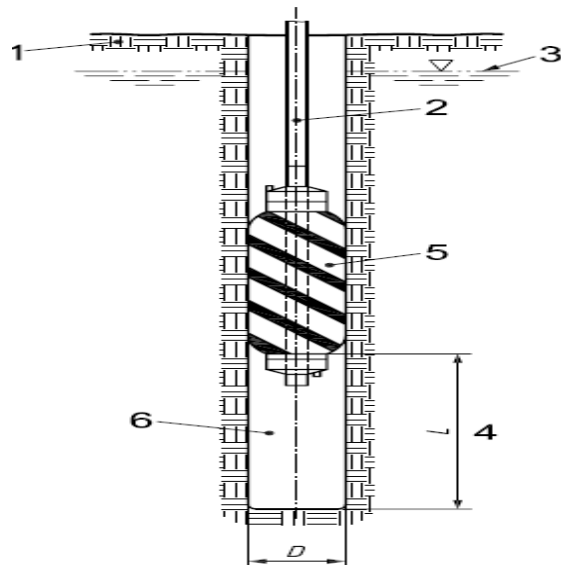
۳-۱-۶-۲ در روش فشارسنج باز موقت، باید از یک لوله سوراخ‌دار در مقطع آزمون استفاده شود. فیلتر مناسب باید فضای میان لوله و دیواره گمانه در داخل مقطع آزمون را پر کند. یک اتصال آب‌بند باید بالای بسته فیلتر نصب شود (شکل ۲ ب).

۳-۱-۶-۳ پیش از بیرون کشیدن لوله‌جداری، فیلتر مناسب باید در مقطع آزمون پر شود. پس از آن لوله‌جداری باید تا لبه بالایی مقطع آزمون بیرون کشیده شود (شکل ۲ ج).

۳-۱-۶-۴ آماده‌سازی مشابه آنچه در بند ۳-۱-۶-۳ اشاره شد، اما بدون فیلتر (شکل ۲ د).



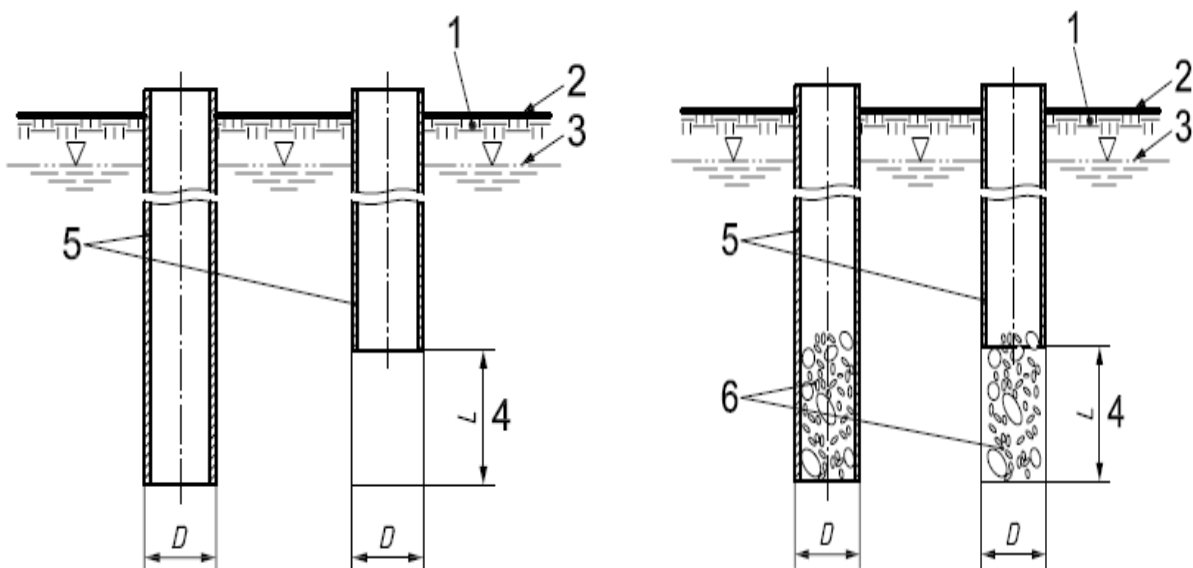
ب) فشارسنج موقت



الف) با پرکن

راهنمای الف	راهنمای ب
۱ . زمین	۱ . زمین
۲ . لوله اندازه گیری	۲ . سطح بالایی
۳ . سطح آب های زیر زمینی	۳ . سطح آب های زیر زمینی
۴ . مقطع آزمون	۴ . مقطع آزمون
۵ . پرکن	۵ . اتصال آب بند
۶ . فضای خالی	۶ . لوله اندازه گیری
L طول مقطع آزمون	۷ . بسته فیلتر
D قطر مقطع آزمون	L طول مقطع آزمون
	D قطر مقطع آزمون

شکل ۲ - مثالی از مقطع آزمون در خاک و تخته سنگ پایدار



(د) بدون فیلتر

(ج) با فیلتر

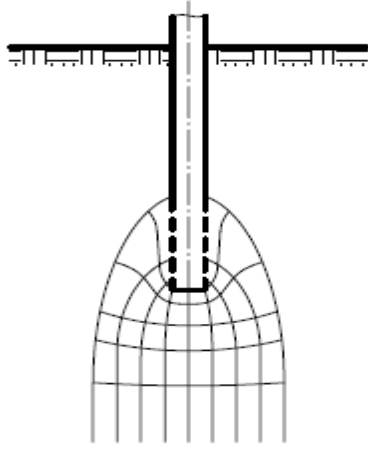
راهنما:

- ۱ زمین
- ۲ سطح بالایی
- ۳ سطح آب زیرزمینی
- ۴ مقطع آزمون
- ۵ دیواره
- ۶ مصالح فیلتر
- L طول مقطع آزمون
- D قطر مقطع آزمون

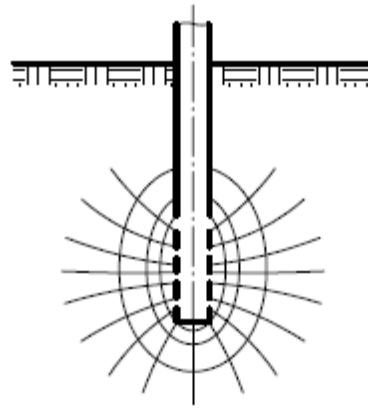
شکل ۲ - ادامه

#### ۴-۱-۶ آماده سازی مقطع آزمون در شرایط غیر اشباع

اندازه گیری نفوذپذیری در خاک های غیر اشباع با تزریق آب در مقطع آزمون انجام می شود. در طول نفوذ ایجاد شده به وسیله آزمون نفوذپذیری، یک حالت اشباع میدانی حول مقطع آزمون ایجاد می شود. به دلیل هوای محبوس باقی مانده در خاک یا هوای به وجود آمده به وسیله تزریق سیال، اشباع کامل رخ نمی دهد. این امر ممکن است نفوذپذیری اندازه گیری شده در میدان را کاهش دهد. هنگام آزمون خاک های درشت دانه غیر اشباع (به طور مثال ماسه ها و شن ها)، جریان آب نظیر آنچه در زیر سطح آب های زیر زمینی در خاک های همگن مشاهده می شود، کروی یا بیضوی نیست (شکل ۳). شبکه جریان تحت تأثیر گرانش قرار گرفته و باید توسط معادلات خاصی مانند آنچه در بند ۵ پیوست ب ارایه شده است، توصیف شود.



(ب) شرایط غیراشباع

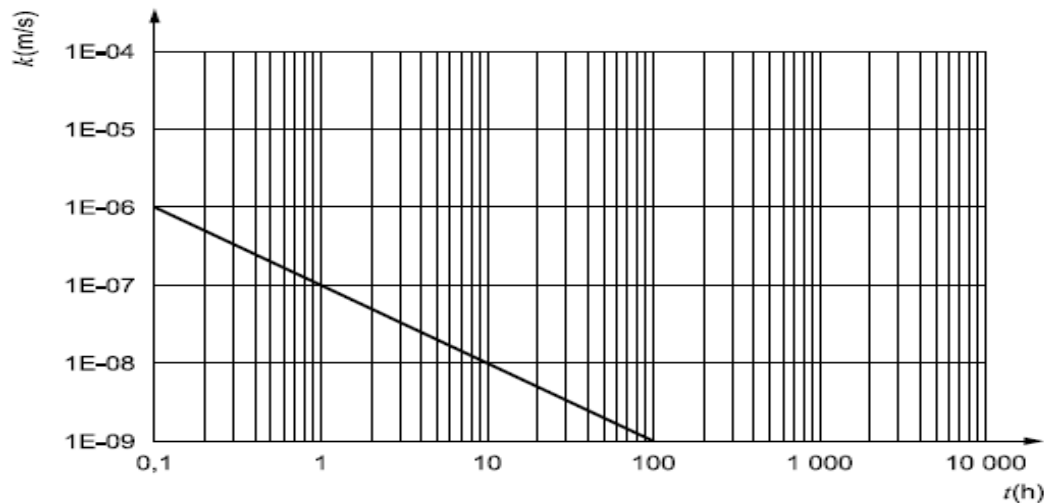


(الف) شرایط اشباع

شکل ۳- جریان آب در خاک‌های درشت دانه

در خاک‌ها با نفوذپذیری پایین (سیلیت‌ها و رس‌ها)، اثر مکش در جبهه مرطوب‌کننده می‌تواند نتایج آزمون را تحت تأثیر قرار دهد، به خصوص اگر اشباع اولیه خاک پایین باشد. برای جلوگیری از مکش یا محدود کردن اثر آن، بهتر است خاک پیرامون مقطع آزمون پیش از اندازه‌گیری صحیح نفوذپذیری، از قبل اشباع شود. این مرحله یک محدوده کروی اشباع شده حول دیواره مقطع آزمون ایجاد می‌کند. معادلات به کار رفته برای محاسبه داده‌های آزمون در شرایط اشباع را می‌توان به کار برد.

مدت زمان مرحله اشباع به نفوذپذیری خاک مقطع آزمون بستگی دارد (شکل ۴). مقدار کلی آب نفوذی در طی مرحله اشباع باید ثابت شود.



شکل ۴- مدت زمان توصیه شده مرحله اشباع

## ۲-۶ روش انجام آزمون

### ۱-۲-۶ عمومی

تمامی روش‌های آزمون را می‌توان به‌عنوان آزمون‌های چند مرحله‌ای که افت‌های هیدرولیکی یا نرخ‌های جریان متفاوت را اعمال می‌کنند، انجام داد.

### ۲-۲-۶ روش آزمون نرخ جریان ثابت

روش آزمون نرخ جریان ثابت معمولاً برای مقادیر  $k$  بزرگ‌تر از  $10^{-6} \text{ m/s}$  مناسب است. پیش از شروع آزمون، تراز آب باید پس از پایداری، در فضای حلقوی یا لوله اندازه‌گیری، اندازه‌گیری شود. نرخ جریانی باید انتخاب شود که اجازه تغییر حداقل  $10 \text{ cm}$  تراز آب در طول اولین دقیقه را در لوله به منظور بدست آوردن تغییر قابل توجه تراز آب بین دوگام اندازه‌گیری، بدهد. پیش از شروع آزمون، تراز آب باید به سطح آب ایستا در حالت سکون رسیده باشد.

یادآوری- در یک حالت معمول مقطع آزمون (نظیر  $D=10 \text{ cm}$  و  $L=100 \text{ cm}$ )، یک تغییر  $10$  سانتی‌متر با نرخ جریان  $100 \text{ L/min}$ ، متناظر با یک گستره نفوذپذیری تقریباً  $10^{-3} \text{ m/s}$  می‌باشد. اگر گمانه با نرخ جریان کوچک‌تری (تقریباً  $1 \text{ L/min}$ ) خالی شود (به ترتیب پر شده)، نفوذپذیری کمتر از  $10^{-6} \text{ m/s}$  خواهد بود.

نرخ جریان تعریف شده باید اعمال و حفظ شود. تراز آب باید تا سپری شدن  $20$  دقیقه، حداقل دقیقه‌ای یک بار اندازه‌گیری شود و سپس تا پایان مرحله جریان، حداقل هر پنج دقیقه یک بار اندازه‌گیری شود. هنگامی که تراز آب در لوله اندازه‌گیری پایدار می‌شود، یعنی سه اندازه‌گیری متوالی بیش از یک سانتی‌متر اختلاف نداشته باشند و یا پس از  $60$  دقیقه، آزمون را می‌توان خاتمه داد. هنگامی که جریان آب متوقف شد، بازگشت تراز آب باید اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری باید حداکثر  $30$  ثانیه پس از توقف جریان آب آغاز شده و تا نصف مدت زمان مرحله جریان یا رسیدن به تراز آب اولیه، حداقل دقیقه‌ای یک بار ادامه یابد.

### ۳-۲-۶ روش آزمون افت متغیر

روش آزمون افت متغیر معمولاً برای مقادیر  $k$  بین  $10^{-6} \text{ m/s}$  و  $10^{-9} \text{ m/s}$  مناسب است. قبل از شروع آزمون، تراز آب باید پس از پایداری در فضای حلقوی یا لوله اندازه‌گیری، اندازه‌گیری شود. تراز آب در گمانه یا لوله اندازه‌گیری باید با تزریق یا بیرون کشیدن آب، تغییر کند. اندازه‌گیری‌های تراز آب باید بلافاصله پس از شروع آزمون، آغاز گردد. فواصل زمانی اندازه‌گیری باید مطابق با گستره نفوذپذیری تعریف شوند. هنگامی که  $75\%$  بازگشت تراز آب بدست آید، آزمون را می‌توان خاتمه داد.

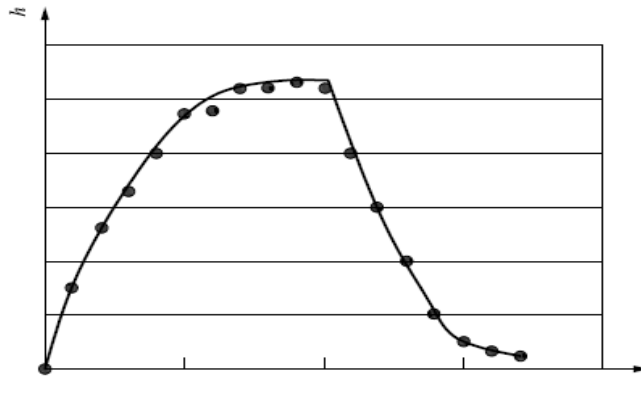
#### ۴-۲-۶ روش آزمون افت ثابت

روش آزمون افت ثابت معمولاً برای مقادیر  $k$  بین  $10^{-4} \text{ m/s}$  و  $10^{-7} \text{ m/s}$  مناسب است. قبل از شروع آزمون، تراز آب باید پس از پایداری در فضای حلقوی یا لوله اندازه‌گیری، اندازه‌گیری شود. آزمون افت ثابت نیاز به تغذیه یا بیرون کشیدن آب دارد. افزایش افت هیدرولیکی ثابت (تزریق یا بیرون کشیدن) باید به مقطع آزمون اعمال شود. مقدار آب نفوذ کرده یا بیرون کشیده شده باید تا رسیدن به جریان حالت پایدار برحسب زمان مورد پایش قرار گیرد.

#### ۷ بیان نتایج آزمون

##### ۱-۷ روش آزمون نرخ جریان ثابت

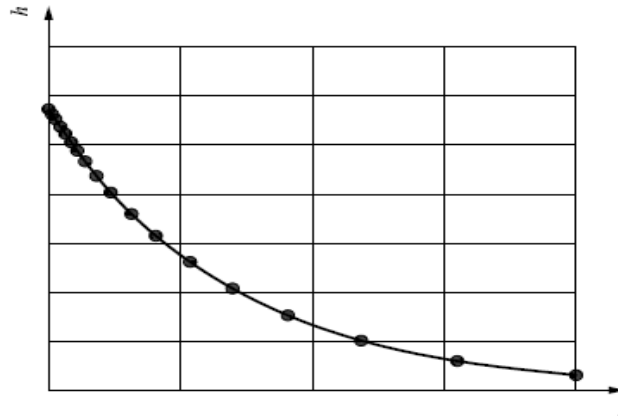
نتایج یک آزمون نرخ جریان ثابت، تغییرات افت هیدرولیکی برحسب زمان است (شکل ۵).



شکل ۵ - مثالی از نتایج آزمون یک آزمون نرخ جریان ثابت

##### ۲-۷ روش انجام آزمون افت متغیر

نتایج یک آزمون افت متغیر، تغییرات افت هیدرولیکی برحسب زمان است (شکل ۶).

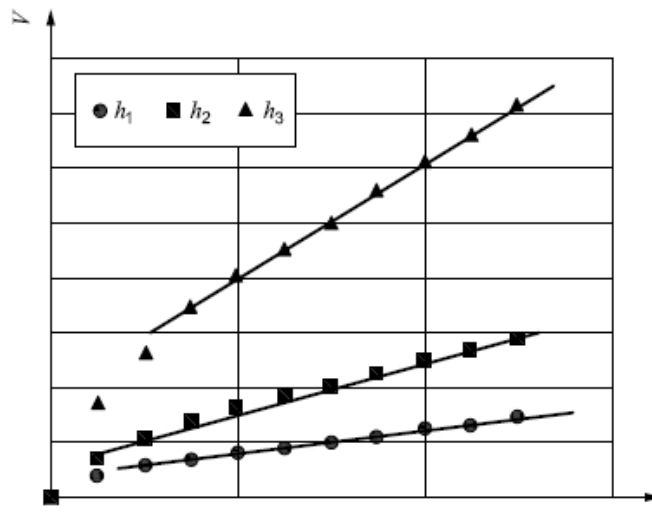


شکل ۶ - مثالی از نتایج آزمون یک آزمون افت متغیر



### ۳-۷ روش انجام آزمون افت ثابت

نتایج یک آزمون افت ثابت، تغییرات حجم یا نرخ جریان آب برحسب زمان است (شکل ۷).



شکل ۷ - مثالی از نتایج آزمون یک آزمون افت ثابت برای افت‌های هیدرولیکی مختلف (آزمون چند مرحله‌ای) ( $h_3 > h_2 > h_1$ )

### ۸ گزارش‌های آزمون

#### ۱-۸ گزارش آزمون میدانی

##### ۱-۱-۸ عمومی

در محل پروژه، گزارش میدانی باید تهیه و تکمیل شود. این گزارش آزمون میدانی در صورت اجرایی بودن، باید شامل موارد زیر باشد:

۱-۱-۱-۸ تهیه خلاصه گزارش نتایج آزمون مطابق استاندارد بند ۲-۲؛

۲-۱-۱-۸ ثبت حفاری مطابق استاندارد بند ۲-۲؛

۳-۱-۱-۸ ثبت نمونه برداری مطابق استاندارد بند ۲-۲؛

۴-۱-۱-۸ ثبت واسنجی مطابق استاندارد بند ۲-۱؛

۵-۱-۱-۸ ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج آزمون مطابق ۲-۱-۸.

تمام بررسی‌های میدانی باید به نحوی گزارش شوند که اشخاص ثالث قادر به کنترل و درک نتایج باشند.

#### ۲-۱-۸ ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج آزمون

ثبت مقادیر اندازه‌گیری شده و نتایج آزمون در صورت قابل اجرا بودن، باید شامل داده‌های زیر باشند (پیوست الف را ملاحظه کنید).

#### ۱ اطلاعات عمومی :

- ۱-۱ ارجاع به این استاندارد ملی؛
- ۲-۱ نام آزمایشگاه انجام دهنده آزمون؛
- ۳-۱ نام مشتری؛
- ۴-۱ نام و شماره پروژه؛
- ۵-۱ نام و امضای آزمون‌گر.

## ۲ اطلاعات در خصوص مکان آزمون:

- ۱-۲ تاریخ و شماره آزمون؛
- ۲-۲ شماره گمانه؛
- ۳-۲ مکانی در محدوده یا مکانی که در نزدیک‌ترین موقعیت است.
- ۴-۲ موقعیت و ارتفاع گمانه X,Y,Z .

## ۳ اطلاعات در خصوص وسایل به کار رفته:

- ۱-۳ قطر داخلی یا خارجی جدار و لوله فیلتر؛
- ۲-۳ نوع فیلتر؛
- ۳-۳ وسیله جداسازی.

## ۴ اطلاعات در خصوص فرایند آزمون:

- ۱-۴ نوع آزمون با اشاره به این استاندارد ملی ایران؛
- ۲-۴ شیب / جهت‌گیری گمانه؛
- ۳-۴ شیوه حفاری؛
- ۴-۴ نتایج آزمون؛
- ۵-۴ عمق متوسط مقطع آزمون؛
- ۶-۴ طول و قطر مقطع آزمون؛
- ۷-۴ جزئیات هر رویداد یا مشاهده غیرعادی در طی آزمون؛
- ۸-۴ توصیه‌ها در خصوص مشاهدات یا کنترل‌های مهم انجام شده برای اجرا.

## ۵ اطلاعات بیشتر

۱-۵ شرایط آب و هوایی در زمان آزمون؛

۲-۵ شناسایی و توصیف خاک و تخته سنگ مطابق استاندارد بند ۲-۵ و مطابق استاندارد بند ۲-۶؛

۳-۵ شرایط هیدروژئولوژیک.

## ۲-۸ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات ضروری زیر باشد:

الف) گزارش میدانی (به شکل اولیه و/ یا رایانه‌ای)

ب) یک نمایش گرافیکی از نتایج آزمون و مقادیر ثبت شده افت هیدرولیکی یا نرخ جریان (یا حجم)

برحسب زمان، برای هرگام از افت هیدرولیکی اعمالی در زمان مقتضی؛

پ) هرگونه اصلاحات در داده‌های ارائه شده؛

ت) هرگونه محدودیت داده (نظیر نتایج آزمون نامربوط، ناکافی، غیر دقیق و مغایر)؛

ث) نام و امضای مسؤل آزمایشگاه.

پیوست الف  
(اطلاعاتی)

مثالی از ثبت مقادیر اندازه گیری شده و نتایج آزمون

آزمون های نفوذپذیری آب در یک گمانه با به کارگیری سامانه های باز مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۷۰۶۱-۲							
		نام مشتری				نام آزمایشگاه	
		مکان				نام / شماره پروژه	
		شماره آزمون	تاریخ			روش آزمون	
	ارتفاع	موقعیت Y		موقعیت X		شماره گمانه	
		قطر لوله فیلتر		وسیله جداکننده		نوع فیلتر	
	طول	سطح پایینی		سطح بالایی		قطر مقطع آزمون	
تغییرات افت $\Delta h$	افت هیدرولیکی h	نرخ جریان $\dot{V}$	زمان	تغییرات افت $\Delta h$	افت هیدرولیکی h	نرخ جریان $\dot{V}$	زمان
ملاحظات و اطلاعات اضافی							
نام و امضای آزمون گر							

پیوست ب  
(اطلاعاتی)  
تفسیر نتایج آزمون

ب-۱ عمومی

تفسیر آزمون‌ها، شامل تعیین ضریب نفوذپذیری  $k$  ( بر حسب  $m/s$  ) می‌باشد. این ضریب می‌تواند از مقدار  $k$  با مقیاس بزرگ، انحراف داشته باشد و ممکن است برای اندازه‌گذاری پایین آمدگی سطح آب زیر زمینی به کار گرفته نشود. در گستره نزدیک یک محدودیت برای یک حوزه آب زیرزمینی، معادله پیشنهاد شده برای محاسبه  $k$ ، مطابق آن چه در [۴] توصیف می‌شود، باید اصلاح شود.

ب-۲ شیوه آزمون با نرخ ثابت

هنگامی که حالت پایدار بدست می‌آید، ضریب نفوذپذیری باید مطابق با معادله ب-۱ محاسبه شود:

$$k = \frac{Q}{F \cdot h} \quad \text{معادله ب-۱}$$

که در آن:

$k$  ضریب نفوذپذیری است؛

$Q$  نرخ جریان ثابت است؛

$F$  ضریب شکل محاسبه شده مطابق با قسمت یک این استاندارد ملی است؛

$h$  افت هیدرولیکی پایدار شده در حالت پایدار است.

هنگامی که بیش از یک نرخ جریان به‌طور متوالی اعمال می‌شود، نمودار نرخ‌های جریان مختلف را می‌توان به صورت تابعی از افت هیدرولیکی ترسیم نمود (بند ب-۳ را ملاحظه نمایید).

در صورتی که داده‌ها در نمودار  $dh$  بر حسب  $\log(dt)$  یک خط مستقیم را شکل دهند، جریان شعاعی تصدیق می‌شود. در صورتی که داده‌ها در نمودار  $dh$  بر حسب  $1/\sqrt{dt}$  یک خط مستقیم را شکل دهند، جریان کروی تصدیق می‌شود.

داده‌های جمع‌آوری شده در طی فاز گذرا ممکن است به کمک معادله زیر نیز تفسیر شوند:

$$h(t) = \left( \frac{Q}{S} - \frac{dh}{dt} \right) \cdot \frac{A}{k \cdot F} \quad \text{معادله ب-۲}$$

که در آن:

A مساحت سطح مقطع لوله اندازه‌گیری است.

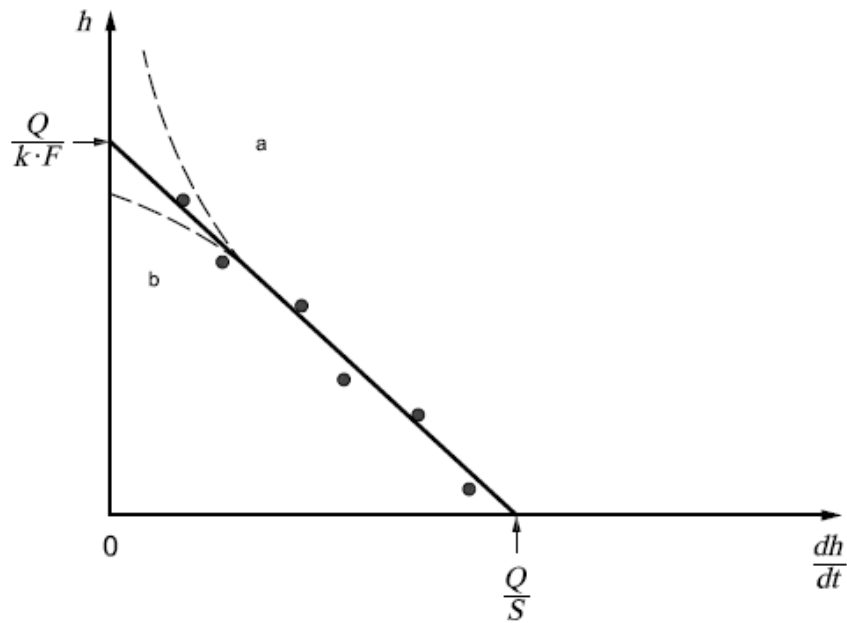
داده‌ها با محاسبه افت هیدرولیکی  $h(t)$  برحسب  $dh/dt$  در طی فاز نرخ جریان و در طی فاز بازیابی سطح ایستا ترسیم می‌شوند ( شکل ب ۱).

منحنی به‌دست آمده از نرخ جریان، یک خط مستقیم است که از نقاط زیرگذر می‌کند:

$$(dh/dt = 0, h = Q/kF)$$

$$(dh/dt = Q/S, h = 0)$$

این امر امکان محاسبه  $k$  را فراهم می‌کند.



راهنما:

a گرفتگی (clogging)

b شسته شدن

شکل ب ۱ - نمودار افت هیدرولیک  $h$  برحسب  $dh/dt$

### ب-۳ روش آزمون با افت ثابت

ضریب نفوذپذیری  $k$  را باید مطابق با معادله ب-۳ محاسبه کرد:

$$k = \frac{Q}{F \cdot h} \quad \text{معادله ب-۳}$$

که در آن:

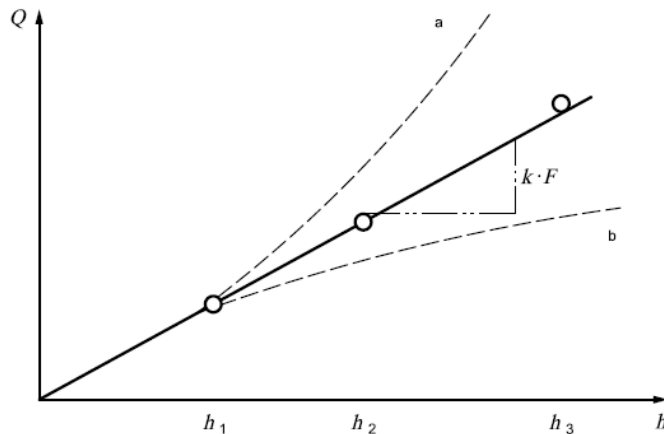
$Q$  نرخ جریان آب در حالت پایدار است،

$F$  ضریب شکل مطابق با استاندارد بند ۲-۱ است؛

$h$  افت هیدرولیک آزمون است.

در صورتی که داده‌ها در نمودار  $1/q$  برحسب  $\log(dt)$ ، یک خط مستقیم را شکل دهند، جریان شعاعی تصدیق می‌شود. در صورتی که داده‌ها در نمودار  $q$  برحسب  $1/\sqrt{dt}$ ، یک خط مستقیم را شکل دهند، جریان کروی تصدیق می‌شود.

نمودار مقدار آب نفوذ کرده یا بیرون کشیده شده را می‌توان به صورت تابعی از افت هیدرولیکی  $h$  با تکرار آزمون با سه افت هیدرولیکی مختلف  $h_1, h_2, h_3$  ترسیم نمود (شکل ب-۲ را ملاحظه کنید). اگر آزمون به شکل صحیح انجام شود، زوج‌های ترسیم شده داده‌ها بر روی یک خط مستقیم قرار می‌گیرند. اگر آخرین نقاط بر روی یک نمودار منحنی رو به بالا قرار بگیرند، این بدان معناست که ذرات ریز شسته شده‌اند. اگر گرفتگی در طی آزمون رخ دهد، آخرین نقاط بر روی یک نمودار منحنی رو به پایین قرار می‌گیرند.



راهنما:

a گرفتگی

b شسته شدن

شکل ب-۲ - مقدار آب نفوذ کرده بسته به اختلاف فشار

ب-۴ روش آزمون با افت متغیر

ب-۴-۱ روش نمودار سرعت

به صورت قراردادی، معادله برای آزمون‌های گمانه آزمون با افت متغیر با جدارگذاری باز به شکل زیر است:

$$\ln \left[ \frac{h_0}{h(t)} \right] = \frac{k \cdot F (t - t_0)}{S} \quad \text{معادله ب-۴}$$

که در آن:

$h_0$  و  $h(t)$  افت‌های هیدرولیکی اندازه‌گیری شده به ترتیب در زمان‌های  $t_0$  و  $t$  هستند؛

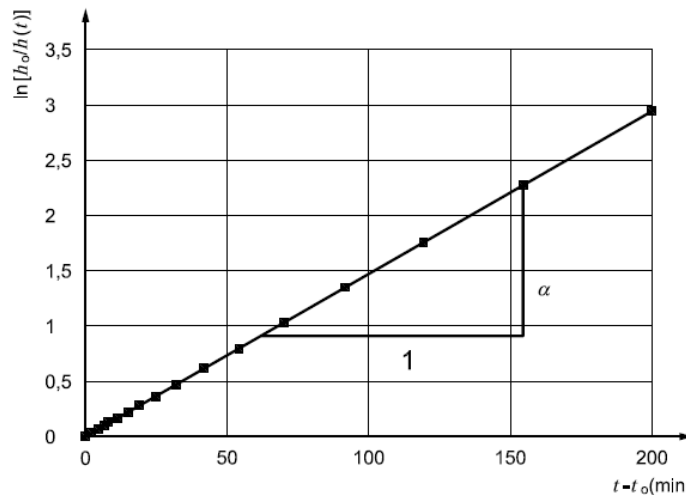
$S$  سطح مقطع داخلی واقعی معلوم لوله رابط است که اندازه‌گیری در آن انجام می‌شود؛

$F$  ضریب شکل محاسبه شده مطابق استاندارد بند ۲-۱ است.

ترسیم  $\ln[h_0/h(t)]$  بر حسب زمان سپری‌شده، یک خط مستقیم با شیب  $\alpha$  که معادل با  $k.F/S$  است را نتیجه می‌دهد (شکل ب-۳).

$k$  به صورت مستقیم توسط معادله ب-۵ محاسبه می‌شود:

$$k = \alpha \cdot S / F \quad \text{معادله ب-۵}$$



شکل ب-۳ - نمایش تغییرات افت  $h(t)$  به صورت تابعی از زمان سپری شده  $t$  به شکل نمودار نسبت

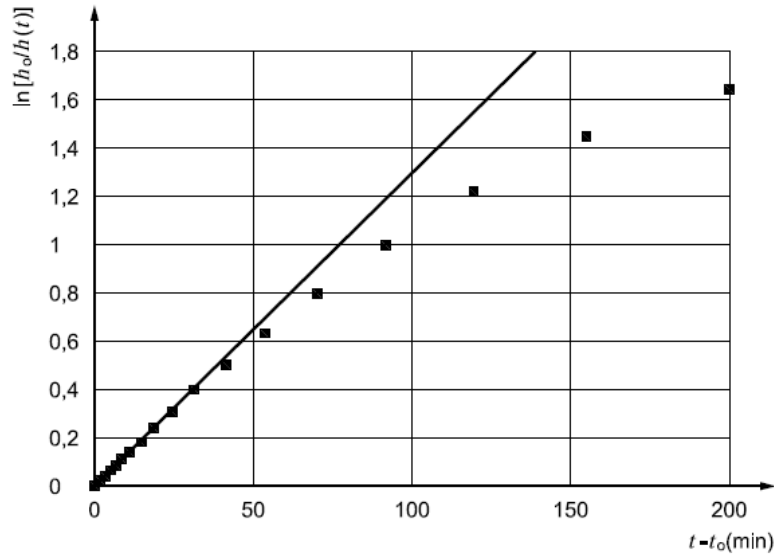
در برخی حالات، رابطه میان  $\ln[h_0/h(t)]$  و  $(t-t_0)$  یک خط مستقیم نیست (شکل ب-۴). لازم است که سرعت‌های  $dh/dt$  که در هر گام اندازه‌گیری  $dt$  محاسبه شده‌اند، به صورت تابعی از تغییر متوسط افت هیدرولیک  $h$  در طی گام زمانی  $dt$  ترسیم شوند (شکل ب-۵). جایی که نقاط آزمون هم راستا هستند، خط مستقیم، محور  $h$  را در مقدار  $h_{st}$  که متناظر با عبارت اصلاحی برای تخمین سطح ایستای اولیه است، قطع می‌کند.



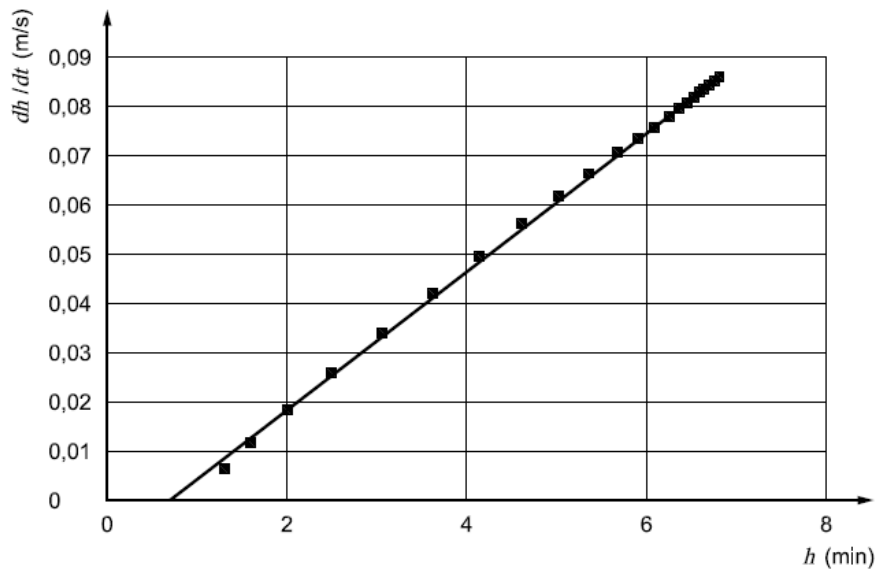
مقادیر اصلاح شده  $h(t)$ ، که با  $h_{cor}(t)$  نشان داده می‌شوند، با اعمال اصلاح زیر بدست می‌آیند:

$$h_{cor}(t) = h(t) - h_{st} \quad \text{معادله ب-۶}$$

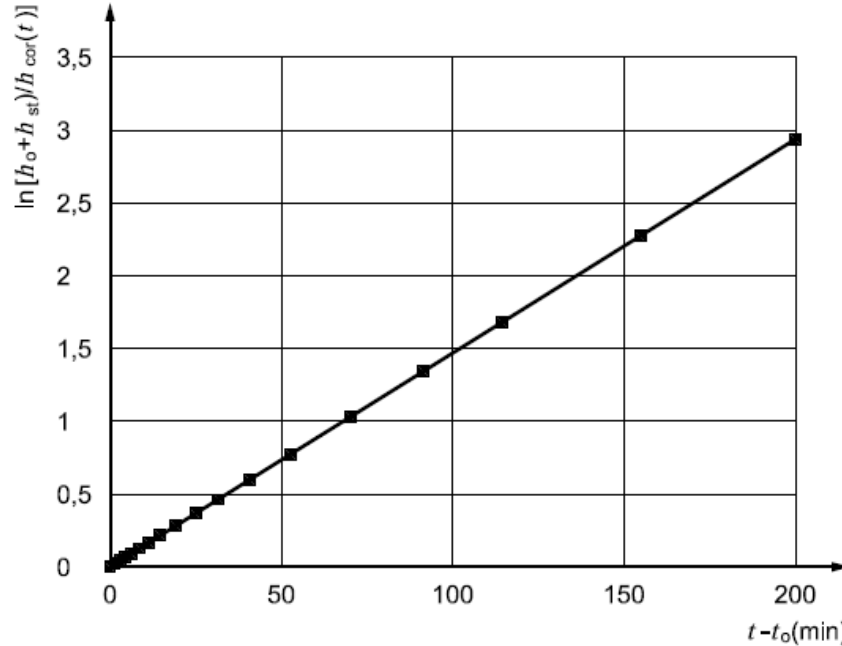
ترسیم مقادیر  $h_{cor}$  اصلاح شده به صورت تابعی از زمان، یک خط مستقیم را نتیجه می‌دهد که امکان مشخص کردن شیب تئوری  $\alpha$  را فراهم می‌کند (شکل ب-۶ را ببینید).



شکل ب-۴ - ارتباط غیرخطی میان  $\ln[h_0/h(t)]$  و زمان



شکل ب-۵ - نمایش سرعت تغییرات افت وابسته به زمان



شکل ب-۶- نمایش افت هیدرولیک اصلاح شده وابسته به زمان  $h_{cor}(t)$ ، نمودار نسبتی

#### ب-۴-۲ روش هورسلو<sup>۱</sup>

این روش را تنها در زیر سطح آب‌های زیرزمینی می‌توان به کار برد. معادله زیر به داده‌ها اعمال می‌شود:

$$k = \frac{r^2 \cdot \ln\left(\frac{L}{R}\right)}{2 \cdot L \cdot t_0} \quad \text{معادله ب-۷}$$

که در آن:

$k$  ضریب نفوذپذیری (متر بر ثانیه) است؛

$r$  شعاع لوله اندازه‌گیری (متر بر ثانیه) است؛

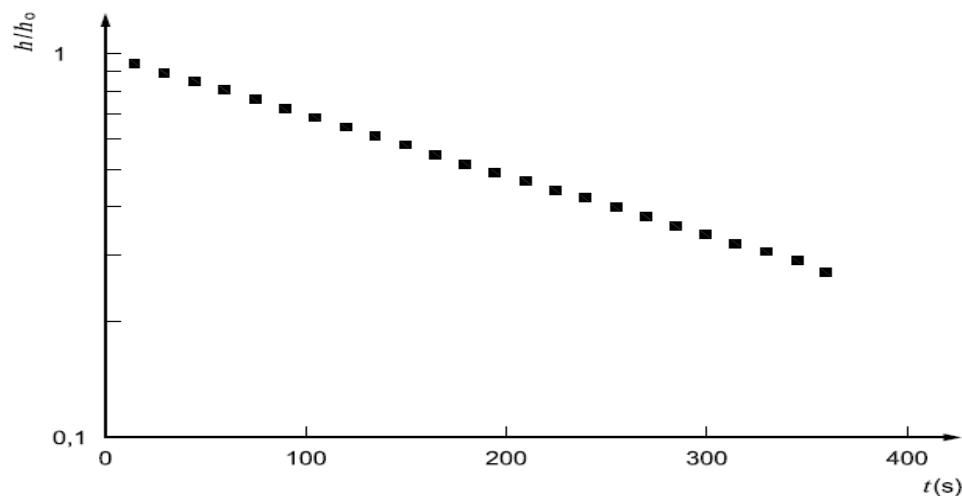
$R$  شعاع مقطع آزمون (متر بر ثانیه) است؛

$L$  طول مقطع آزمون (متر بر ثانیه) است؛

$t_0$  زمانی است که طول می‌کشد تا سطح آب تا ۳۷ درصد تغییر اولیه در بار (برحسب  $s$ ) بالا رود یا پایین آید.

داده‌ها با محاسبه نسبت  $h/h_0$  ترسیم می‌شوند و ترسیم برحسب زمان بر روی کاغذ نیمه لگاریتمی، مطابق شکل ب-۷ نمایش داده می‌شود.

معادله قبل یکی از فرمول‌های متعددی است که توسط هورسلو برای هندسه فشار سنج و شرایط متفاوت سفره آب ارایه شده است و می‌توان برای اکثر طراحی‌های فشارسنج که در آن‌ها طول اغلب اندکی بزرگ‌تر از شعاع لوله سوراخ‌دار جدار گمانه است، به کار برد. برای سایر شرایط، در خصوص نشریه اصلی باید مشاوره شود.



شکل ب ۷- نمودار  $h/h_0$  بر حسب زمان مطابق با روش هورسلو (1951)

#### ب-۴-۳ روش کوپر - بردهوفت - پاپادوپولوس<sup>۱</sup>

این روش آزمون، فرآیند تحلیلی را برای تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده در طی یک آزمون افت لحظه‌ای با به‌کارگیری یک گمانه با استهلاک بالا را توصیف می‌کند. فرآیند تحلیلی شامل تحلیل بازیابی سطح آب در گمانه به دنبال تغییر در سطح آب است که در گمانه القا می‌شود.

فرضیات حل شیوه کوپر و همکارانش:

الف) تغییر افت در گمانه کنترلی در زمان  $t=0$  آنی است؛

ب) گمانه دارای قطر محدود است و به‌طور کامل در سفره آب نفوذ می‌کند؛

پ) جریان در سفره آب بدون نفوذ شعاعی است.

بیان انتگرالی در راه حل ارائه شده در معادله ب-۸ را نمی‌توان به صورت تحلیلی ارزیابی کرد. یک حل گرافیکی برای تعیین قابلیت انتقال و ضریب ذخیره را می‌توان با به‌کارگیری مجموعه‌ای از منحنی‌های نوعی مطابق شکل ب ۸ ارائه نمود.

$$h = \frac{2h_0}{\pi} \int_0^{\infty} \left[ \exp(-\beta u^2 / \alpha) \left[ J_0(ur/r_w) [uY_0(u) - 2\alpha Y_1(u)] - Y_0(ur/r_w) [uJ_0(u) - 2\alpha Y_1(u)] \right] / \Delta(u) \right] \cdot du \quad \text{معادله ب-۸}$$

که در آن:

$$\alpha = r_w^2 S / r_c^2 \quad \text{معادله ب-۹}$$

$$\beta = Tt / r_c^2 \quad \text{معادله ب-۱۰}$$

$$\Delta(u) = [uJ_0(u) - 2\alpha J_1(u)]^2 + [uY_0(u) - 2\alpha Y_1(u)]^2 \quad \text{معادله ب-۱۱}$$

$r_w$  شعاع گمانه است؛

$r_c$  شعاع جدار است؛

$S$  ضریب ذخیره است.

یک نمودار نیمه لگاریتمی با مقیاس مشابه منحنی نمونه آماده کنید. داده‌های سطح آب را در گمانه کنترلی، که به صورت یک کسر،  $h/h_0$ ، بر روی مقیاس ریاضی، برحسب زمان،  $t$ ، بر روی مقیاس لگاریتمی بیان شده است، رسم کنید.

نمودار داده‌ها را بر روی مجموعه‌ای از ترسیم‌های منحنی نوعی (شکل ب-۸)، جاگذاری کنید به نحوی که محورهای ریاضی منطبق باشند، نمودار داده‌ها را جا به جا کنید تا با یک منحنی یا یک منحنی تخمینی از مجموعه منحنی‌های نمونه منطبق شود. یک نقطه انطباق برای  $t, \beta$  و  $\alpha$  از دو نمودار انتخاب می‌شود.

با استفاده از مختصات خط انطباق، قابلیت انتقال و ضریب ذخیره را به کمک معادلات زیر تعیین کنید:

$$T = \beta r_c^2 / t \quad \text{معادله ب-۱۲}$$

و

$$S = \alpha r_c^2 / r_w^2 \quad \text{معادله ب-۱۳}$$

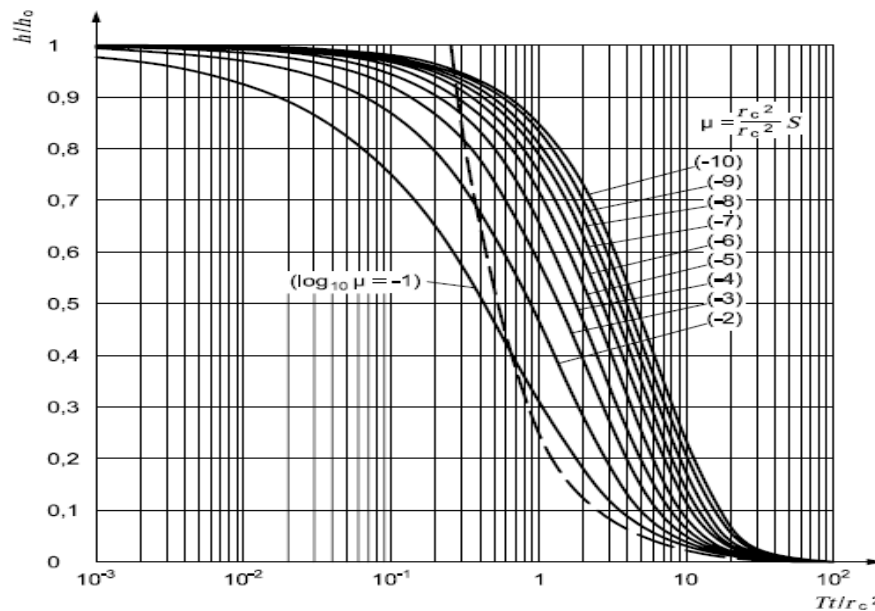
سپس، ضریب نفوذپذیری از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$k = T/L \quad \text{معادله ب-۱۴}$$

که در آن:

$T$  قابلیت انتقال است؛

$L$  طول مقطع آزمون است.

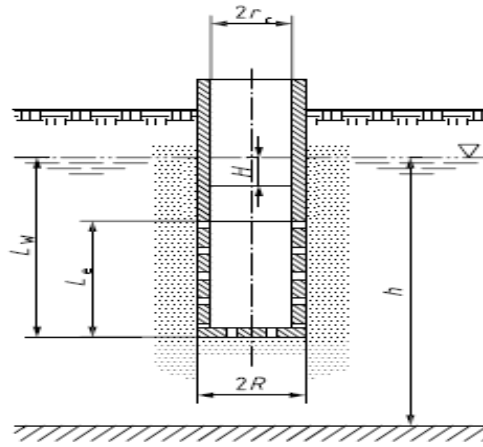


شکل ب ۸ - منحنی‌های نوعی برای آزمون اسلاگ (Slug test) در یک گمانه با قطر محدود

#### ب-۴-۴ روش بوور و رایس<sup>۲</sup>

این شیوه را می‌توان بر روی گمانه‌ها باز یا گمانه‌های فیلتردار (مشبک) انجام داد. گمانه می‌تواند کاملاً شامل نفوذ جزیی شکل‌گیری آزمون شده باشد. گرچه آزمون در ابتدا برای سفره‌های آب محصور نشده توسعه یافت، در صورتی که بالای صفحه گمانه از زیر انتهای لایه محصورکننده فاصله داشته باشد، می‌توان آن را برای سفره‌های آب محصور نیز به کار برد. هندسه گمانه برای آزمون بوور و رایس در شکل (ب ۹) نمایش داده می‌شود. در این دیاگرام، پارامتر  $r_c$  شعاع جدار گمانه است که در آن سطح آب در حال تغییر است و  $R$  شعاع بسته سنگدانه یا مساحت توسعه یافته حول لوله سوراخ‌دار جدار گمانه است.

<sup>۱</sup> - نوع خاصی از آزمون سفره آب زیرزمینی که در آن آب به سرعت به یک گمانه سفره آب زیرزمینی افزوده شده یا از آن بیرون کشیده می‌شود.



شکل ب ۹ - هندسه و نمادهای مربوط به شیوه بوور و رایس

معادله بوور و رایس عبارت است از:

$$k = \frac{r^2 \cdot \ln\left(\frac{R_e}{R}\right)}{2 \cdot L} \cdot \frac{1}{t} \cdot \ln\left(\frac{h_0}{h_t}\right) \quad \text{معادله ب-۱۵}$$

که در آن:

- $k$  ضریب نفوذپذیری (برحسب متر بر ثانیه) است؛
- $r$  شعاع لوله اندازه‌گیری یا جدار گمانه (برحسب متر) است؛
- $R$  شعاع مقطع آزمون (برحسب متر) است؛
- $R_e$  فاصله موثر شعاعی است که بیش از آن، بار القایی پراکنده می‌شود (برحسب متر)؛
- $L$  طول مقطع آزمون است که آب می‌تواند از طریق آن وارد شود (برحسب متر)؛
- $h_0$  ارتفاع افت سطح آب در زمان  $t=0$  (برحسب متر) است؛
- $h_t$  ارتفاع افت سطح آب در زمان  $t$  (برحسب متر) است؛
- $t$  زمان از لحظه  $h=h_0$  (برحسب ثانیه) است.

فاصله موثری که بیش از آن، بارالقایی پراکنده می‌شود،  $R_e$ ، همچنین مقدار فاصله از گمانه است که مقدار متوسط  $k$  در آن اندازه‌گیری می‌شود. اما، هیچ راهی برای دانستن اینکه مقدار  $R_e$  برای یک گمانه مشخص چقدر است، وجود ندارد. بوور و رایس روشی را برای تخمین نسبت بدون بعد  $\ln(R_e/R)$  ارائه کرده‌اند.

اگر  $L_w$  کمتر از  $h$ ، یعنی ضخامت اشباع سفره آب باشد، آن‌گاه داریم:

$$\ln \frac{R_e}{R} = \left[ \frac{1.1}{\ln(L_w/R)} + \frac{A + B \cdot \ln\left[\frac{(h - L_w)}{R}\right]}{L/R} \right]^{-1} \quad \text{معادله ب-۱۶}$$

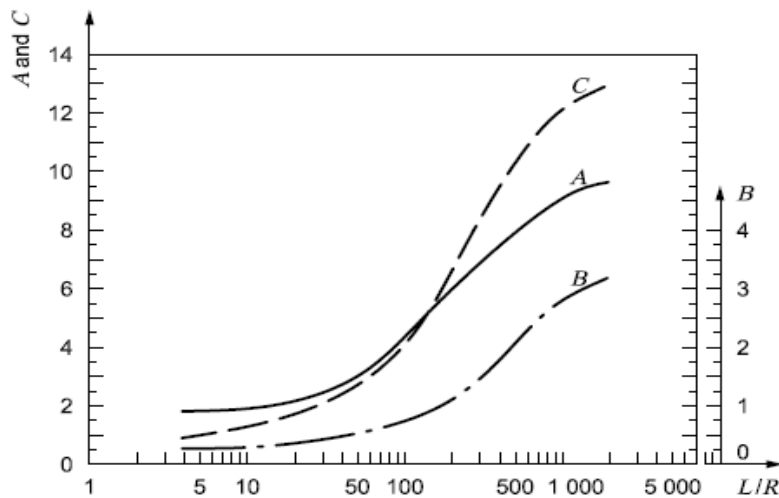
اگر  $L_w$  برابر با  $h$  باشد، آن‌گاه:

$$\ln \frac{Re}{R} = \left[ \frac{1.1}{\ln(L_w/R)} + \frac{C}{L/R} \right]^{-1} \quad \text{معادله ب-۱۷}$$

که در آن  $A, B, C$  اعداد بدون بعدی هستند که آن‌ها را می‌توان از شکل (ب-۱۰) به دست آورد، که در آن شکل، آن‌ها به صورت تابعی از  $L/R$  ترسیم شده‌اند.

مقدار  $h_t$  به صورت تابعی از  $t$  بر روی کاغذ نیمه لگاریتمی ترسیم می‌شود، در حالی که  $h_t$  بر روی محور لگاریتمی قرار دارد. زوج‌های داده‌ها از مقادیر کوچک زمان و مقادیر بزرگ بار بر روی یک خط مستقیم قرار می‌گیرند. مقدار  $(1/t) \ln(h_0/h_t)$  ممکن است از دو نقطه انتخاب شده بر روی بخش خط مستقیم نمودار به دست آید. در یک نقطه مقادیر  $h_1$  و  $t_1$  و در نقاط دیگر مقادیر  $h_2$  و  $t_2$  هستند. تحت این شرایط:

$$\frac{1}{t} \cdot \ln \left( \frac{h_0}{h_t} \right) = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \cdot \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad \text{معادله ب-۱۸}$$



شکل ب-۱۰- پارامترهای بدون بعد  $A$ ،  $B$  بر حسب  $L/R$

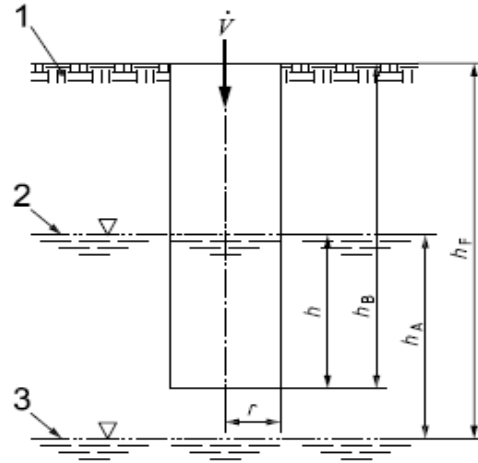
### ب-۵ شرایط خاک غیر اشباع

در صورتی که الزامات زیر برآورده شوند، می‌توان نتایج آزمون مربوط به آزمون‌های انجام شده با افت ثابت در خاک‌های غیر اشباع را تفسیر کرد:

الف) شرایط جریان ساکن در زمان آزمون؛

ب)  $h/t > 10$ ؛

پ) شرایط هیدروژئولوژیک مطابق با شکل‌های ب-۱۱ و ب-۱۲.

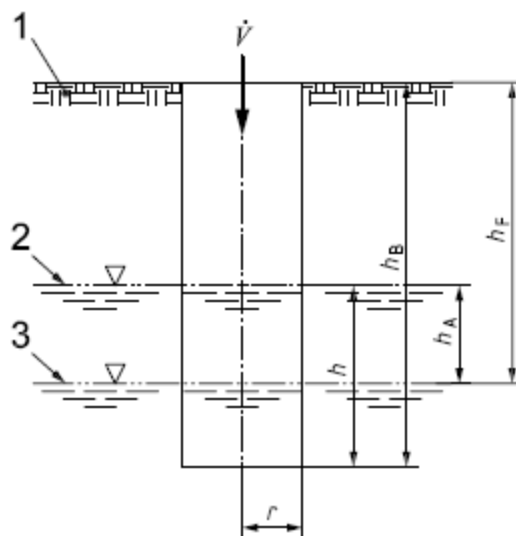


راهنما:

- |   |                  |
|---|------------------|
| ۱ | سطح زمین         |
| ۲ | سطح آب بالا آمده |
| ۳ | سطح آب نامحصور   |

شکل ب ۱۱ - شرایط هیدروژئولوژیکی برای یک آزمون با بار ثابت در خاک‌های غیر اشباع  
(سطح آب‌های زیر زمینی نامحصور زیر انتهای گمانه)





- راهنما:
- ۱ سطح آب
  - ۲ سطح آب بالا آمده
  - ۳ سطح آب نامحصور

شکل ب-۱۲ - شرایط هیدروژئولوژیکی برای یک آزمون با افت ثابت در خاک‌های غیر اشباع (سطح آب‌های زیرزمینی نامحصور بالای انتهای گمانه)

مطابق با شرایط آزمون هیدروژئولوژیکی، سه معادله وجود دارند:

برای  $h_A > 3h$ ، سطح آب‌های زیر زمینی نامحصور در عمق بیشتر زیر انتهای گمانه:

$$k_f = 0,159 \cdot \frac{\dot{V}}{h^2} \cdot \left[ \ln \left( \frac{h}{r} + \sqrt{\left( \frac{h}{r} \right)^2 + 1} \right) - 1 \right] \quad \text{معادله ب-۱۹}$$

برای  $h \leq h_A \leq 3h$ ، سطح آب‌های زیرزمینی نامحصور در عمق کمتر زیر انتهای گمانه:

$$k_f = 0,159 \cdot \frac{\dot{V}}{h^2} \cdot \frac{\ln \left( \frac{h}{r} \right)}{0,1667 + \frac{h_A}{3 \cdot h}} \quad \text{معادله ب-۲۰}$$

برای  $h_A < h$ ، سطح آب‌های زیر زمینی نامحصور بالای انتهای گمانه:

$$k_f = 0,159 \cdot \frac{\dot{V}}{h^2} \cdot \frac{\ln \left( \frac{h}{r} \right)}{\frac{h_A}{h} - 0,5 \cdot \left( \frac{h_A}{h} \right)^2} \quad \text{معادله ب-۲۱}$$

که در آن:

$k_f$  ضریب نفوذپذیری است؛

$\dot{V}$  نرخ نفوذ (نرخ جریان) است؛

$h$  افت هیدرولیک در گمانه است؛

$r$  شعاع گمانه است؛

$h_F$  عمق سطح آبهای زیر زمینی نامحصور است؛

$h_B$  عمق گمانه است؛

$h_A$  فاصله سطح آب بالا آمده تا سطح آبهای زیر زمینی نامحصور:

$$h_F = h_A + h_B - h.$$

پیوست پ  
(اطلاعاتی)  
کتابنامه

- [1] EN 1997-1, Euro code 7: Geotechnical design — Part 1: General rules
- [2] EN 1997-2, Euro code 7: Geotechnical design — Part 2: Ground investigation and testing
- [3] Cassin, M. (2005): Les essais de permeability sure site dans la reconnaissance des sols, nouvelle Edition, Presses de l'école national des Punts et Chaussées, Paris
- [4] Bower, H. and rice, R.C. (1976): A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely penetrating wells, Water Resources Research, Vol. 12, No. 3, pp. 423-428
- [5] Fetter, C.W. (1994): Applied Hydrogeology, Third Edition, New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 691 p.
- [6] Cooper, H.H., Bredehoeft, J.D., and Papadopoulos, I.S. (1967): Response of a finite diameter well to an instantaneous change of water, Water Resources Research, Vol. 3, No. 1, pp. 263-269
- [7] Hvorslev, M.J. (1951): Time lag and soil permeability in groundwater observation, U.S. Army, Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg MS., Bull. 36
- [8] US Department of the Interior (1990): Earth Manual, Part 2, A Water Resources Technical Publication .  
Procedure for constant-head hydraulic conductivity tests in single drill holes (USBR 7310-89)