

# دستورالعمل اندازه‌گیری سرعت

## نفوذ آب به خاک باروش استوانه

نشریه شماره ۲۴۳

وزارت نیرو  
سازمان مدیریت منابع آب ایران  
دفتر استاندارد مهندسی آب

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور  
معاونت امور فنی  
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

جمهوری اسلامی ایران

# دستورالعمل اندازه گیری سرعت نفوذ آب به خاک باروش استوانه

نشریه شماره ۲۴۳

وزارت نیرو  
سازمان مدیریت منابع آب ایران  
دفتر استاندارد مهندسی آب

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور  
معاونت امور فنی  
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

## فهرست برگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها  
دستورالعمل اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با روش استوانه / معاونت امور فنی،  
دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ وزارت نیرو، سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر  
استاندارد مهندسی آب. - تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور  
پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۸۰.  
ص ۳۲: مصور. - (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین  
معیارها؛ نشریه شماره ۲۴۳) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛  
۸۰/۵۰/۹۶)

ISBN 964-425-323-X

مربوط به دستورالعمل شماره ۵۴/۴۶۳۴-۵۴/۱۲۲۴۴-۱۰۵ مورخ ۱۳۸۰/۸/۱۶  
کتابنامه: ص. ۳۲

۱. آبیاری - دستنامه‌ها. ۲. زهکشی - دستنامه‌ها. الف. سازمان مدیریت منابع آب  
ایران. دفتر استاندارد مهندسی آب. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز  
مدارک علمی و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۰ ش. ۲۴۳. ۲۴/س ۳۶۸/TA

ISBN 964-425-323-X

شابک X-۳۲۳-۴۲۵-۹۶۴

دستورالعمل اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با روش استوانه

تهیه‌کننده: دفتر امور فنی و تدوین معیارها

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات

چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه، ۱۳۸۰

قیمت: ۳۰۰۰ ریال

لیتوگرافی: قاسملو

چاپ و صحافی: مؤسسه زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



شماره: ۱۰۵/۱۲۲۴۴-۵۴/۴۶۳۴	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مشاوران و پیمانکاران
تاریخ: ۸۰/۸/۱۶	
موضوع: دستورالعمل اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با روش استوانه	
<p>به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت/۱۴۸۹۸ هـ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیات وزیران) به پیوست، نشریه شماره ۲۴۳ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان، با عنوان "دستورالعمل اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با روش استوانه" از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌گردد.</p> <p>دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.</p> <p>عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان، ارسال دارند.</p>	
<p>محمد ستاری فر معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان</p>	

## پیشگفتار

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

نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیات محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرحها را مورد تاکید جدی قرار داده است. باتوجه به مراتب یادشده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب و وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (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

- 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 کارشناسان محترم 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.

معاون امور فنی

پاییز ۱۳۸۰

## ترکیب اعضای کمیته

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

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

ضمناً آقای دکتر اسدالله روحی از مهندسان مشاور پارس کنسولت در تعدادی از جلسات تدوین این استاندارد شرکت داشته اند و افراد زیر نیز به ترتیب حروف الفبا در نهایی نمودن نشریه مذکور مشارکت داشته اند.

آقای رضا احمدآبادی	وزارت نیرو	فوق لیسانس مهندسی تأسیسات آبیاری
آقای مجید خیاط خلقی	دانشگاه تهران	دکترای مهندسی منابع آب
آقای مجتبی رضوی نبوی	دفتر توسعه شبکه های آبیاری و زهکشی	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	۱- مقدمه
۲	۲- کلیات
۲	۲-۱- تعاریف
۳	۲-۲- نفوذپذیری در آبیاری و زهکشی
۸	۳- روش کار
۸	۳-۱- وسایل
۹	۳-۱-۱- استوانه فلزی
۹	۳-۱-۲- درپوش
۹	۳-۱-۳- چکش
۹	۳-۱-۴- آب
۱۰	۳-۱-۵- وسیله اندازه‌گیری سطح آب
۱۰	۳-۱-۶- وسیله جلوگیری از تخریب سطح خاک
۱۰	۳-۱-۷- آگر
۱۰	۳-۱-۸- فرم ثبت اطلاعات
۱۰	۳-۲- انتخاب محل
۱۰	۳-۲-۱- نفوذپذیری در آبیاری و زهکشی سطحی
۱۳	۳-۲-۲- هدایت هیدرولیک قائم در زهکشی زیرزمینی
۱۴	۳-۳- نصب
۱۴	۳-۴- اجرای آزمایش
۱۶	۴- محاسبات
۱۶	۴-۱- روش یک استوانه
۱۷	۴-۲- روش استوانه مضاعف
۱۸	۵- تراکم نقاط آزمایشی
۱۸	۶- طبقه‌بندی توصیفی نفوذپذیری خاک

۱۹	۷- مثال
۱۹	۷-۱- تک استوانه
۲۲	۷-۲- استوانه مضاعف
۲۶	۷-۳- مقایسه نتایج دو روش
۳۱ تا ۲۸	پیوست شماره ۱
۳۲	۸- منابع و مآخذ



## فهرست جدولها

۶	جدول ۱- پارامترهای نفوذ در رابطه کوستیاکف - لوئیس
۱۸	جدول ۲- طبقه‌بندی توصیفی نفوذپذیری خاک
۱۹	جدول ۳- داده‌های آزمایش نفوذ
۲۰	جدول ۴- داده‌های مورد استفاده برای تعیین $f_0$
۲۱	جدول ۵- داده‌های مورد استفاده برای تعیین $k$ و $a$
۲۶	جدول ۶- نتایج حاصله از دو روش
۲۷	جدول ۷- مقایسه $I$ , $Z$ و $I_{ave}$ در دو روش

## فهرست شکلها

۷	شکل ۱- دسته منحنیهای نفوذ بر اساس نظر سازمان حفاظت خاک آمریکا
۷	شکل ۲- پارامترهای نفوذپذیری در آزمایشهای زهکشی
۱۱	شکل ۳- استوانه فلزی و درپوش
۱۱	شکل ۴- دو نوع چکش
۱۱	شکل ۵- قلاب متصل به اشل مهندسی برای اندازه‌گیری عمق آب در استوانه
۱۴	شکل ۶- محل آزمایش هدایت هیدرولیک قائم خاک در اعماق مختلف بالای سطح ایستابی
۲۰	شکل ۷- منحنی نفوذ تجمعی نسبت به زمان
۲۵	شکل ۸- منحنی نفوذ تجمعی نسبت به زمان در آزمایش استوانه مضاعف

فرایند ورود آب از سطح به درون خاک اصطلاحاً «نفوذ» نامیده می‌شود و «نفوذپذیری» که درجه سهولت و روانی نفوذ قائم آب به درون خاک را بیان می‌دارد، یکی از مهمترین مشخصه‌های خاک در زمینه آبیاری است. نفوذپذیری خاک تابع عوامل متعددی از قبیل: بافت، ساختمان و تغییرات نیمرخ لایه‌های سطحی خاک است و می‌تواند از نقطه‌ای به نقطه دیگر تفاوت‌های چشمگیر داشته باشد. به همین علت در مطالعات آبیاری و زهکشی، اندازه‌گیری‌هایی که برای تعیین پارامترهای نفوذپذیری صورت می‌گیرد از حساسیت ویژه برخوردار است.

هدف از ارائه این دستورالعمل، تعیین پارامترهای مختلف نفوذ آب در خاک، شامل: سرعت نفوذ لحظه‌ای آب به خاک، تعیین عمق آب قابل نفوذ به خاک در مدت زمان معین، تعیین سرعت نفوذ پایه و به طور کلی مشخص نمودن معادلات و خصوصیات نفوذ آب به خاک و استفاده از آنها در طرح‌های آبیاری، زهکشی سطحی و زهکشی زیرزمینی است.

روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری خصوصیات نفوذ آب به خاک وجود دارد که از جمله عبارتند از:

- روش استوانه (مضاعف و یک استوانه)، مناسب برای کلیه روشهای آبیاری (به غیر از نشتی) و زهکشی،
  - روش کرتهای کوچک، مناسب برای کلیه روشهای آبیاری (به غیر از نشتی) و زهکشی،
  - روش جریان ورودی - جریان خروجی، مناسب برای روش آبیاری نشتی،
  - روش نشتی سروته بسته، مناسب برای روش آبیاری نشتی،
  - روش دو نقطه، مناسب برای روش آبیاری نشتی به ویژه در اراضی شیبدار،
  - روش یک نقطه، مناسب برای کلیه روشهای آبیاری،
  - روش بارشی، مناسب برای روش آبیاری بارانی و زهکشی،
- تاکنون، اندازه‌گیری با استوانه مضاعف رایجترین روش بوده است. در این روش، برای اطمینان از نفوذ قائم آب به خاک، از دو استوانه تو در تو استفاده می‌گردد. به این ترتیب که به سبب وجود آب در حد فاصل دو استوانه، فرض براین است که نفوذ آب از استوانه میانی کاملاً به صورت قائم باشد و نشتی جانبی فقط از حد فاصل بین دو استوانه صورت گیرد. بنابراین، نفوذ آب از استوانه میانی، می‌تواند خصوصیات نفوذپذیری خاک را به خوبی نشان دهد.

تجارب اخیر نشان داده است که تغییرات منطقه‌ای نفوذپذیری، عموماً به اندازه‌ای زیاد است که خطای ناشی از عدم وجود استوانه بیرونی در مقابل آن اندک است. از این رو، در برخی از مراجع جدید، استفاده از استوانه مضاعف توصیه نشده و بهره‌گیری تنها از یک استوانه کافی تشخیص داده شده است.

روش یک استوانه منحصرأ براساس توصیه سازمانهای بین المللی بوده و تاکنون تجربه مستقیمی در مورد اندازه گیری پارامترهای نفوذ توسط یک استوانه در ایران وجود نداشته است، لذا توصیه می شود که کارشناسان درگیر با این اندازه گیریها، در شرایط مناسب، مقایسه هایی بین این دو روش به عمل آورند و نتایج را از طریق طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور در دسترس عموم قرار دهند.

در این دستورالعمل، اندازه گیری خصوصیات نفوذ آب به خاک به روشهای استوانه مضاعف و یک استوانه، مورد بحث قرار گرفته و در مورد سایر روشهای نامبرده، شرح مختصری در پیوست شماره ۱ ذکر گردیده است.

## ۲- کلیات

در تهیه این دستورالعمل از تعاریف و علائم زیر استفاده به عمل آمده است:

### ۱-۲ تعاریف

#### ۱- نفوذ پذیری<sup>۱</sup>

به پدیده نفوذ قائم آب از سطح به درون خاک گفته می شود.

#### ۲- نفوذ تجمعی<sup>۲</sup>

به مقدار تجمعی آب نفوذ یافته در خاک از زمان شروع نفوذ تا هر لحظه زمانی مشخص گفته می شود.

#### ۳- سرعت نفوذ<sup>۳</sup>

به عمق آب نفوذ یافته از سطح خاک در واحد زمان گفته می شود. وقتی نفوذ آب در خاک به صورت قائم باشد از واژه "Infiltration Rate" استفاده می شود. نفوذ آب به خاک در شیارهای آبیاری نشتی، کاملاً قائم نیست و آب به صورت جانبی نیز به خاک نفوذ می کند، در این حالت معمولاً از واژه "Intake Rate" استفاده می شود. سرعت نفوذ آب در خاک پارامتری متغیر است و در طول زمان تغییر می کند.

---

1- Infiltration

2- Commulative Infiltration

3- Infiltration Rate ; Intake Rate

#### ۴- سرعت نفوذ لحظه‌ای<sup>۱</sup>

به سرعت نفوذ در هر لحظه زمانی گفته می‌شود.

#### ۵- سرعت نفوذ متوسط<sup>۲</sup>

به میانگین سرعت نفوذ از آغاز پدیده نفوذ تا هر لحظه زمانی گفته می‌شود.

#### ۶- سرعت نفوذ پایه<sup>۳</sup>

سرعت نفوذ آب به خاک با گذشت زمان کاهش می‌یابد و پس از مدتی به حد نسبتاً ثابت می‌رسد که به آن سرعت نفوذ پایه اطلاق می‌شود.

#### ۷- هدایت هیدرولیک قائم<sup>۴</sup>

به عمق آبی که در واحد زمان به صورت قائم در لایه‌های عمقی خاک (در حالت اشباع) نفوذ می‌کند، هدایت هیدرولیک قائم گفته می‌شود. تفاوت اساسی «نفوذپذیری» با «هدایت هیدرولیک قائم» در این است که اولی جریان قائم ورود آب از سطح به درون خاک و دومی جریان قائم آب در درون خاک و در محیط اشباع را تعریف می‌کند. هدایت هیدرولیک قائم مشخصه‌ای از خاک است که عمدتاً در زهکشی زیرزمینی مورد توجه قرار می‌گیرد.

### ۲-۲ نفوذپذیری در آبیاری و زهکشی.

عوامل زیادی در پدیده نفوذپذیری مؤثرند. از جمله آنها می‌توان به: بافت خاک، ساختمان خاک، رطوبت اولیه، عمق آب، دمای آب و خاک، مقدار مواد جامد معلق، نظیر: رس و سیلت در آب آبیاری، مقدار نمکهای محلول و به خصوص سدیم قابل تبادل در آب و خاک، فشردگی خاک و وجود درز و ترک و سخت لایه اشاره کرد. به تجربه ثابت شده است که نفوذ تجمعی آب در خاک با زمان رابطه‌ای نمایی به صورت زیر دارد:

$$Z = kt^a \quad (1)$$

که در آن:

$Z$  - نفوذ تجمعی آب در خاک برحسب سانتیمتر،

1- Instantaneous Infiltration Rate ; Instantaneous Intake Rate

2- Average Infiltration Rate; Average Intake Rate      3- Basic Infiltration Rate ; Basic Intake Rate

4- Vertical Hydraulic Conductivity

$a, k$  - مقادیری که برحسب نوع خاک متفاوت است،  $a$  بدون بعد بوده و مقادیر آن بین صفر تا یک متغیر است.  $k$  دارای بعد  $LT^{-a}$  می باشد.

$t$  - زمان تجمعی یا زمان سپری شده برحسب ساعت،  
سرعت نفوذ لحظه‌ای با مشتق‌گیری از رابطه «۱» به صورت زیر خواهد بود:

$$I = akt^{a-1} \quad \text{«۲»}$$

میانگین سرعت نفوذ یا سرعت نفوذ متوسط از آغاز اندازه‌گیری تا هر لحظه مشخص، از تقسیم نفوذ تجمعی بر زمان به دست می‌آید؛ بنابراین:

$$I_{ave} = kt^{a-1} \quad \text{«۳»}$$

که در آن  $I_{ave}$  میانگین سرعت نفوذ برحسب سانتیمتر بر ساعت است.

با گذشت زمان، سرعت نفوذ لحظه‌ای کاهش می‌یابد و به حد نسبتاً ثابتی می‌رسد که به آن سرعت نفوذ پایه اطلاق می‌گردد. هرگاه تغییرات سرعت نفوذ لحظه‌ای نسبت به زمان معادل ۱۰ درصد سرعت نفوذ لحظه‌ای گردد، این سرعت نفوذ را می‌توان سرعت نفوذ پایه فرض کرد. بنابراین:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} (akt^{a-1}) = \frac{1}{10} I = \frac{1}{10} akt^{a-1}$$

$$ak(a-1)t^{a-2} = \frac{1}{10} akt^{a-1} \quad \text{و یا}$$

$$(a-1) = \frac{1}{10} t \quad \text{و یا}$$

$$t_b = 10|(a-1)| \quad \text{«۴»}$$

و:

$$I_b = akt_b^{a-1} \quad \text{«۵»}$$

که در آن :

$t_b$  - زمان رسیدن به سرعت نفوذ پایه برحسب ساعت و

$I_b$  - سرعت نفوذ پایه برحسب سانتیمتر بر ساعت است.

اشکال اساسی روابط فوق در این است که با میل کردن زمان به سوی بی نهایت، سرعت لحظه‌ای به صفر میل می‌کند، در حالی که در عمل با پدیده نفوذ تناقض دارد؛ زیرا که نفوذپذیری خاک یکی از خصوصیات ذاتی آن است و گرچه با پیشرفت زمان کاهش می‌یابد، ولی در نهایت به صفر نمی‌رسد؛ لذا برای رفع مشکل فوق‌الذکر، کوستیاکف و لوئیس روابط فوق را به شکل زیر اصلاح کردند:

$$Z = kt^a + f_0 t \quad \text{«۶»}$$

که در آن:

$Z$  - نفوذ تجمعی آب در خاک برحسب سانتیمتر

$a, k$  - مقادیری که برحسب نوع خاک متفاوت است،  $a$  بدون بعد بوده و مقادیر آن بین صفر تا یک متغیر است.  $k$  دارای بعد  $LT^{-a}$  می‌باشد.

$t$  - زمان تجمعی یا زمان سپری شده برحسب ساعت

$f_0$  - سرعت نفوذ نهایی یا پایه، پس از یک دوره نفوذ طولانی مدت برحسب سانتیمتر بر ساعت

سرعت نفوذ لحظه‌ای با مشتق‌گیری از رابطه ۶ به صورت زیر خواهد بود:

$$I = akt^{a-1} + f_0 \quad \text{«۷»}$$

میانگین سرعت نفوذ یا سرعت نفوذ متوسط از آغاز اندازه‌گیری تا هر لحظه مشخص، از تقسیم نفوذ تجمعی بر زمان به دست می‌آید؛ بنابراین :

$$I_{ave} = kt^{a-1} + f_0 \quad \text{«۸»}$$

که در آن  $I_{ave}$  میانگین سرعت نفوذ برحسب سانتیمتر بر ساعت است.

به طوری که از رابطه ۷ برمی آید، با زیاد شدن  $t$ ، مقدار  $I$  به سمت  $f_0$  میل می کند. حاصل جمع بندی آزمایشهای متعدد سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) در مناطق مختلف، دسته منحنیهایی است که در شکل ۱ نشان داده شده است. این منحنیها خصوصیات کلی نفوذ خاکها را مشخص می نماید. پارامترهای مختلف این دسته منحنیها در جدول ۱ نشان داده شده است. شماره منحنی<sup>۱</sup> مندرج در شکل شماره ۱، در حقیقت بیانگر سرعت نفوذ در طولانی مدت یا به بیان دیگر معرف سرعت نفوذ پایه برحسب اینچ بر ساعت است.

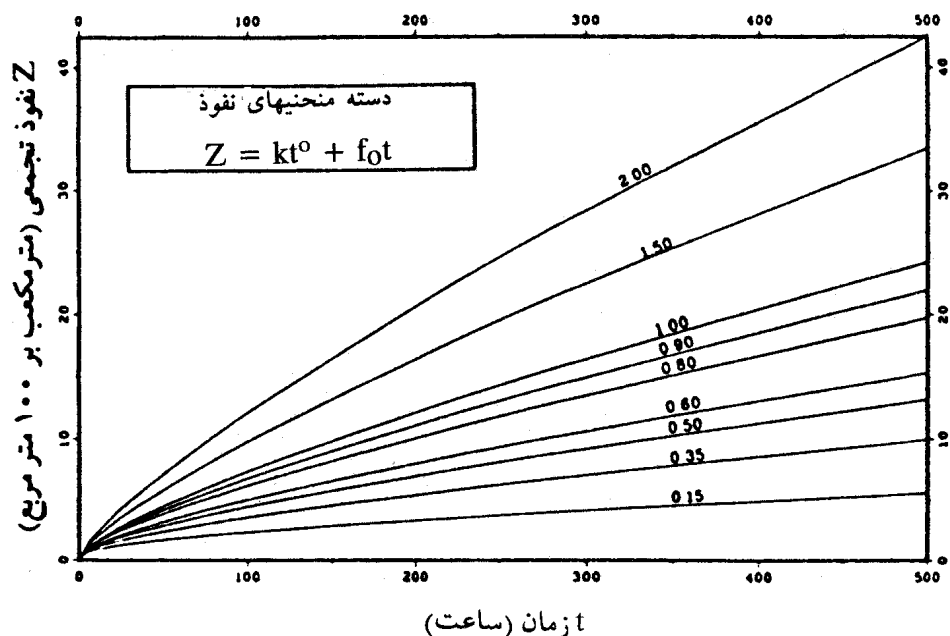
جدول ۱- پارامترهای نفوذ در رابطه کوستیاکف - لوئیس<sup>۲</sup> براساس نظر غربی<sup>۳</sup> (۱۹۸۴)

نوع خاک	سرعت نفوذ پس از ۶ ساعت mm/hr	$f_0$ m/min	a	k m/min <sup>a</sup>	شماره منحنی inch/hr
رس	۲	۰/۱۳۲	۰/۲۵۸	۰/۰۴۰۲	۰/۰۵
	۴	۰/۲۱۰	۰/۳۱۷	۰/۰۶۰۴	۰/۱۰
	۵	۰/۲۷۶	۰/۳۵۷	۰/۰۸۰۴	۰/۱۵
	۶	۰/۳۴۲	۰/۳۸۸	۰/۱۰۱۲	۰/۲۰
	۷	۰/۴۰۸	۰/۴۱۵	۰/۱۲۴۶	۰/۲۵
رس لومی	۸	۰/۴۶۸	۰/۴۳۷	۰/۱۴۷۸	۰/۳۰
	۹	۰/۵۲۸	۰/۴۵۷	۰/۱۷۳۷	۰/۳۵
	۱۰	۰/۵۸۸	۰/۴۷۴	۰/۱۹۹۵	۰/۴۰
	۱۲	۰/۶۴۲	۰/۴۹۰	۰/۲۲۷۹	۰/۴۵
	۱۳	۰/۷۰۲	۰/۵۰۴	۰/۲۵۶۶	۰/۵۰
لوم سیلتی	۱۵	۰/۸۱۶	۰/۵۲۹	۰/۳۱۹۰	۰/۶۰
	۱۷	۰/۹۳۰	۰/۵۵۰	۰/۳۸۴۱	۰/۷۰
	۲۰	۱/۰۴۴	۰/۵۶۸	۰/۴۵۳۵	۰/۸۰
	۲۲	۱/۱۵۸	۰/۵۸۴	۰/۵۸۴۰	۰/۹۰
	۲۵	۱/۲۷۲	۰/۵۹۸	۰/۶۰۳۲	۱/۰۰
لوم شنی	۳۵	۱/۶۸۰	۰/۶۴۲	۰/۹۶۱۸	۱/۵۰
	۴۵	۲/۰۳۴	۰/۶۷۲	۱/۳۵۹۳	۲/۰۰

1- Curve No

2 - Kostiakov - Lewis

3- Gharbi

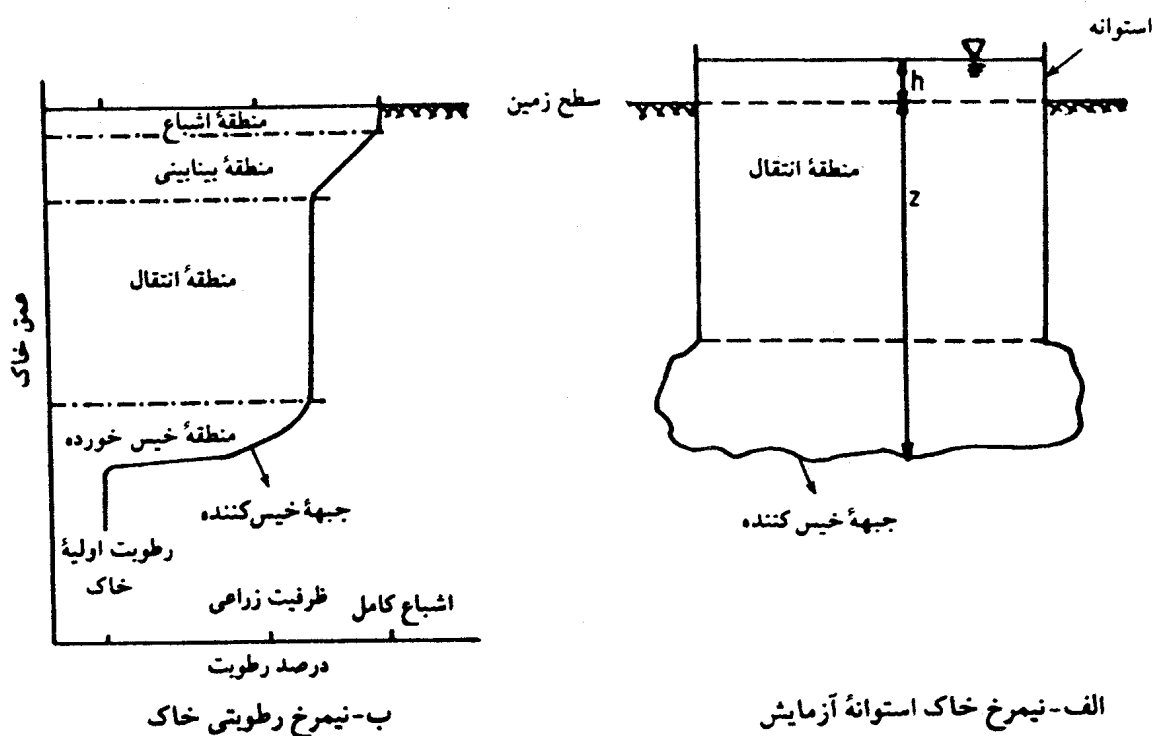


شکل ۱- دسته منحنیهای نفوذ براساس نظر سازمان حفاظت خاک آمریکا مبتنی بر رابطه کوستیاکف - لوئیس

در مطالعات زهکشی زیرزمینی، گاهی لازم است که هدایت هیدرولیک قائم در اعماق مختلف خاک و در بالای سطح ایستابی اندازه گیری شود. برای این منظور می توان از روش استوانه استفاده کرد. شکل ۲ پارامترهای نفوذ را نشان می دهد. براساس قانون داریسی می توان سرعت نفوذ آب در خاک را از رابطه زیر به دست آورد:

$$I = k\theta \left( \frac{h + Z - p}{Z} \right)$$

«۹»



شکل ۲ - پارامترهای نفوذپذیری در آزمایشهای زهکشی



چون رطوبت خاک در منطقه انتقال<sup>۱</sup> رطوبت در حدود رطوبت اشباع است، بنابراین درصد رطوبت نیز به رطوبت اشباع ( $\theta_{sat}$ ) نزدیک می‌شود. از این رو  $p$  به سمت صفر میل می‌کند:

$$\theta \text{ ----- } \theta_{sat}$$

$$p \text{ ----- } 0$$

در این حالت  $k_{\theta}$  به سمت  $k_{sat}$  میل می‌کند و پس از مدتی  $Z$  در مقایسه با  $h-p$  زیاد می‌شود و گرادیان هیدرولیک به سمت یک میل خواهد کرد.

$$\frac{h + Z - p}{Z} \text{ ----- } \frac{Z}{Z} \text{ ----- } 1 \quad \quad \quad \text{« ۱۰ »}$$

و سرانجام:

$$f_o = k_{\theta} \left( \frac{h + Z - p}{Z} \right) \sim k_{sat} \quad \quad \quad \text{« ۱۱ »}$$

به این ترتیب هدایت هیدرولیک قائم خاک را در لایه مورد آزمایش می‌توان تقریباً معادل سرعت نفوذ پایه فرض کرد. لازم به ذکر است که در خاکهای با بافت سبک به علت این که رطوبت منطقه انتقال ممکن است با رطوبت منطقه اشباع تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد، گرادیان هیدرولیک از یک فاصله می‌گیرد و در این حالت نمی‌توان سرعت نفوذ پایه را معادل هدایت هیدرولیک قائم خاک فرض کرد.

### ۳- روش کار

#### ۱-۳ وسایل

وسایل مورد نیاز برای آزمایش، شامل: استوانه فلزی، درپوش، چکش، وسیله اندازه‌گیری سطح آب، ساعت، آب، خط‌کش، ترازبنایی و ورقه نایلونی یا پارچه است.

---

1- Transmission Zone

### ۳-۱-۱ استوانه فلزی

استوانه‌ها از لوله و یا ورق فولادی صاف به قطر بیش از ۳۰ سانتیمتر (۱۲ اینچ) ساخته می‌شوند. توصیه می‌شود که ضخامت ورقه فولادی دو میلیمتر باشد و در صورتی که به هر دلیل ضخامت آن افزایش یابد، بایستی لبه استوانه فلزی تیز شود. ارتفاع استوانه می‌تواند بین ۳۵ تا ۴۵ سانتیمتر متغیر باشد؛ ولی توصیه می‌شود که از استوانه‌هایی به ارتفاع ۴۰ سانتیمتر استفاده گردد.

به منظور سهولت کارگذاری می‌توان تسمه‌ای فلزی به عرض حدود ۳ سانتیمتر و ضخامت حدود ۳ میلیمتر در لبه فوقانی استوانه‌ها جوش داد. شکل ۳ استوانه و درپوش فلزی را نشان می‌دهد.

### ۳-۱-۲ درپوش

برای فراهم آوردن امکان راندن استوانه به داخل خاک به وسیله چکش، از درپوشی فلزی استفاده می‌شود. طول درپوش معمولاً ۵ تا ۱۰ سانتیمتر بیشتر از قطر استوانه و ضخامت درپوش حداقل ۱۲ میلیمتر است.

### ۳-۱-۳ چکش

برای راندن استوانه فلزی به داخل خاک، از چکشی سنگین استفاده می‌شود. شکل ۴ دونوع چکش مناسب را نشان می‌دهد.

### ۳-۱-۴ آب

در این آزمایش باید از آبی که قرار است در آینده در طرح توسعه به منظور آبیاری اراضی به کار گرفته شود، استفاده گردد.

معمولاً وسایل انتقال آب از تعدادی سطل، ظرف در بسته متوسط و بشکه ۲۰۰ لیتری تشکیل می‌شود. لازم به یادآوری است که در اراضی سدیمی<sup>۱</sup> عموماً میزان نفوذپذیری اندازه‌گیری شده در وضع موجود و با کاربرد آب آبیاری، کمتر از نفوذپذیری اراضی پس از اصلاح است؛ لذا این موضوع باید در ارزیابی نتایج آزمایشهای نفوذپذیری خاک مورد توجه قرار گیرد.

---

1- Sodid Soils

### ۳-۱-۵ وسیله اندازه گیری سطح آب

برای قرائت موقعیت سطح آب در استوانه‌ها، از قلاب<sup>۱</sup> و اشل مهندسی<sup>۲</sup> و یا وسایل مشابه آن می‌توان استفاده کرد. شکل ۵، قلاب همراه با اشل مهندسی را نشان می‌دهد.

### ۳-۱-۶ وسیله جلوگیری از تخریب سطح خاک

به منظور جلوگیری از به هم خوردگی و تخریب سطح خاک در هنگام ریزش آب به داخل استوانه‌ها، از تکه‌ای پارچه، مقوا، تخته، ورقه نایلونی یا مشابه آن استفاده می‌شود.

### ۳-۱-۷ آگر

برای بررسی وضعیت رطوبت لایه‌های مختلف خاک و یا برداشتن نمونه از آنها، استفاده از آگر ضروری است. از این وسیله می‌توان برای بررسی وضعیت جبهه رطوبتی در زیر استوانه در پایان آزمایش نیز استفاده کرد. هرچه قطر آگر کمتر باشد، انجام دادن کار با سهولت بیشتری توأم خواهد بود.

### ۳-۱-۸ فرم ثبت اطلاعات

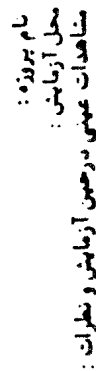
اطلاعات مربوط به آزمایشهای نفوذپذیری در فرم شماره ۱ ثبت می‌گردد.

### ۳-۲ انتخاب محل

#### ۳-۲-۱ نفوذپذیری در آبیاری و زهکشی سطحی

انتخاب محل مناسب آزمایش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. محل انتخابی باید نماینده و معرف محدوده موردنظر باشد. انجام دادن آزمایش در خاکهای سله بسته توصیه نمی‌شود؛ مگر آن‌که عمق شکافهای آن از ده سانتیمتر کمتر و عمل سله‌شکنی نیز قبلاً انجام شده باشد. در انتخاب محل آزمایش موارد دیگری نظیر: محل‌های عبور ماشین‌آلات و راه‌های مالرو و یا محل‌هایی که در آنها لانه موش و یا سایر منافذ و یا سوراخ‌های غیرعادی وجود دارند، نیز مورد توجه قرار می‌گیرد و از انجام دادن آزمایش در این گونه نقاط اجتناب می‌گردد. در زمینهای سنگلاخی عموماً





نوع استفاده از اراضی :  
نام آزمایش کننده :

نوع و مرحله رشد گیاه : تاریخ آزمایش :

وضعیت آماده سازی زمین:  
تاریخ آخرین آبیاری:

فرم شماره ۱ - ثبت اطلاعات آزمایشهای نفوذپذیری

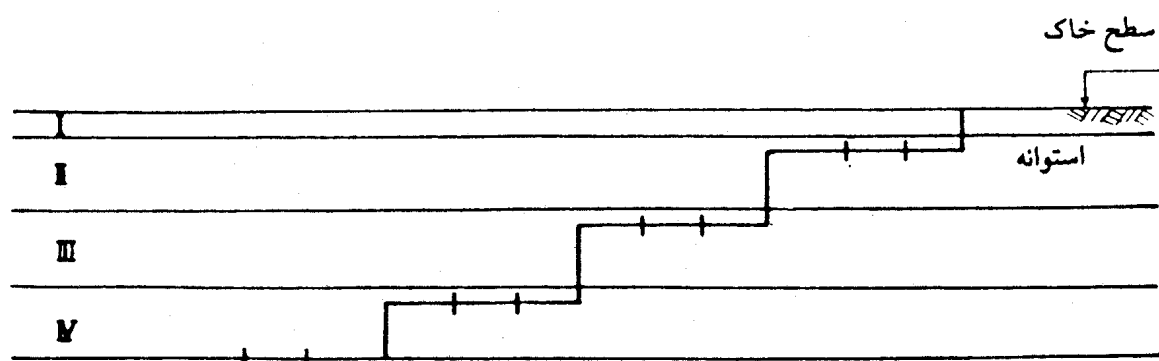
رقم	١٥٠٠	١٥٠٠	١٥٠٠
تاريخ	١٥٠٠	١٥٠٠	١٥٠٠
ملاحظات	١٥٠٠	١٥٠٠	١٥٠٠
ملاحظات	١٥٠٠	١٥٠٠	١٥٠٠

[illegible]

به علت عدم امکان نصب دقیق استوانه، نمی توان از این روش استفاده کرد. در این صورت توصیه می گردد، از روشهای دیگر نظیر روش کرتهای کوچک برای اندازه گیری نفوذپذیری استفاده شود. محل آزمایش، بافت خاک و تغییرات آن نسبت به عمق، همراه با ساختمان خاک، به خصوص در ۳۰ سانتیمتر اولیه مورد توجه واقع می شود. در خاکهایی که احتمال سدیمی بودن آن وجود دارد، شدت سدیمی بودن بایستی مشخص و در ارزیابیها مورد توجه واقع شود. محل آزمایش از نظر رطوبت خاک مورد بررسی قرار می گیرد و در صورت لزوم برحسب مورد، نمونه هایی برای تعیین رطوبت برداشته می شود. توصیه می گردد آزمایش هنگامی صورت گیرد که به طور معمول، زمان آبیاری زمین فرا رسیده باشد. در هر حال تفسیر نتایج با در نظر گرفتن رطوبت خاک صورت می گیرد. بهترین شرایط هنگامی حاصل می شود که زمین زراعی شخم و دیسک خورده و ۲ تا ۳ بار آبیاری شده باشد. چنانچه بتوان زمینی با شرایط مذکور، ولی عاری از گیاه را پیدا کرد، بهتر است که آزمایش در آن نقاط انجام گیرد؛ ولی چنانچه گیاهی در آن وجود داشته باشد، باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. چنانچه زمینی سالها به صورت آیش باقی مانده باشد، نتایج اندازه گیری بدون اعمال نظر کارشناسی قابل تعمیم نیست.

### ۳-۲-۲ هدایت هیدرولیک قائم در زهکشی زیرزمینی

برای استفاده از فرمولهایی که براساس شرایط غیر همروند<sup>۱</sup> ابداع شده اند و همچنین در نقاطی که احتمال برخورد به لایه نیمه تراوا یا غیر قابل نفوذ ضخیم وجود داشته باشد، انجام دادن این آزمایش می تواند مورد توجه قرار گیرد. چون این آزمایش معمولاً در اعماق زمین صورت می گیرد، انتخاب محل مورد نظر از دیدگاه وجود سله، عبور ماشین آلات و یا سایر عوامل محدودکننده دارای محدودیتی نیست. برای آزمایش ابتدا گودالی به عمق حداکثر ۲ متر در خاک حفر می گردد. یکی از دیواره های این گودال قائم و دیگری به صورت پلکانی است و استوانه می تواند در روی هر یک از پله ها قرار داده شود (شکل ۶). عمق گودال معمولاً از عمق نصب زهکش تجاوز نمی کند. یادآوری می شود که تعداد پله ها و محل نصب استوانه ها به لایه بندی خاک ارتباط دارد و هر سری از استوانه ها در لایه ای که از نظر بافت و تراکم متفاوت از لایه های بالایی و یا پایینی آن است، قرار می گیرد. تعداد نقاط آزمایش در هر پروژه معمولاً محدود است و ضرورت انجام دادن آن باید با توجه کافی همراه باشد. معمولاً آزمایش در لایه هایی انجام می شود که ضخامت آن لایه در زیر استوانه، از حدود ۳۰ سانتیمتر کمتر نباشد.



شکل ۶- محل آزمایش هدایت هیدرولیک قائم خاک در اعماق مختلف بالای سطح ایستابی

### ۳-۳ نصب

توصیه می‌شود که آزمایش حداقل در سه مرحله تکرار شود. در زیر مراحل مختلف نصب استوانه ذکر می‌گردد:

۱-۳-۳ با توجه به مفاد بند ۲-۳ محل مناسب برای نصب استوانه‌ها انتخاب می‌شود.

۲-۳-۳ استوانه بر روی سطح خاک قرار داده شده و با کمک دست به داخل خاک فرو برده می‌شود.

۳-۳-۳ درپوش فلزی روی استوانه قرار می‌گیرد.

۴-۳-۳ با چکش به درپوش فلزی چند ضربه وارد می‌گردد. باید دقت کرد که استوانه به صورت قائم به داخل خاک

فرو رود. به این منظور می‌توان از تراز بنایی استفاده کرد؛ ولی معمولاً دقتی در حد دقت چشم کافی است.

۵-۳-۳ روی درپوش فلزی ایستاده و با چکش به آن قدر ضربه وارد می‌سازند تا استوانه به عمق مناسب برسد.

تراز بودن استوانه باید به دفعات مورد بررسی قرار گیرد. باید سعی شود که ضربه‌ها طوری وارد شود که

استوانه به صورت قائم، منظم و یکنواخت وارد خاک شود. در غیر این صورت باید استوانه را از خاک

خارج کرد و آزمایش را در محلی نزدیک به محل قبل انجام داد. استوانه باید حدود ۱۵ سانتیمتر درون

خاک فرو رود.

در مواردی که از استوانه مضاعف استفاده شود، مراحل فوق ابتدا در مورد استوانه درونی اعمال می‌شود و

سپس نسبت به نصب استوانه بیرونی به شرح فوق اقدام می‌گردد.

### ۴-۳ اجرای آزمایش

۱-۴-۳ در هنگامی که از روش استوانه مضاعف استفاده می‌شود، فاصله بین استوانه‌های درونی و بیرونی، به عمقی

حداقل حدود ۵۰ میلیمتر از آب پر می شود. سعی می گردد که این مقدار آب تا انتهای آزمایش در بین دو استوانه باقی بماند و از خالی شدن حوضچه بیرونی جلوگیری شود.

۳-۴-۲ یک تکه پارچه، نایلون، تخته، مقوا و یا مشابه آن در ته استوانه (استوانه درونی در استوانه های مضاعف) قرار می گیرد تا هنگام ریختن آب به درون استوانه از به هم خوردگی سطح خاک و گل آلود شدن آن جلوگیری شود.

۳-۴-۳ استوانه تا عمق حدود ۱۰۰ میلیمتر از آب پر می شود.

۳-۴-۴ تکه پارچه، نایلون و یا مشابه آن به فوریت از کف استوانه برداشته می شود.

۳-۴-۵ به کمک قلابی که به اشل مهندسی متصل شده است (شکل ۵)، عمق آب اندازه گیری می شود. محلی که اشل مهندسی بر روی استوانه قرار داده می شود، علامتگذاری شده تا اندازه گیریهای بعدی نیز در همان نقطه انجام گیرد. اولین اندازه گیری به منظور تعیین عمق آب در لحظه  $t = 0$  باید هرچه زودتر انجام شود.

۳-۴-۶ برای جلوگیری از تبخیر، از سطح آب، دهانه استوانه در فاصله بین اندازه گیریها می تواند به کمک نایلون پوشیده شود.

۳-۴-۷ در فواصل زمانی مناسب اندازه گیریها تکرار می گردد. معمولاً باید در ابتدا فاصله بین قرائتها کوتاه باشد (حدود ۵ تا ۱۰ دقیقه). پس از این مدت می توان فواصل اندازه گیریها را افزایش داد. پس از گذشت یک ساعت، یک اندازه گیری در هر ۳۰ تا ۶۰ دقیقه کافی است.

دراکثر خاکها، اندازه گیری در پایان دقایق ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و پس از آن در هر ساعت یک بار توصیه می گردد. فواصل بین قرائتها را بایستی با توجه به سرعت نفوذ تعدیل کرد. در خاکهایی با سرعت نفوذ زیاد، ممکن است به اندازه گیریهای بیشتری نیاز باشد. به عنوان قاعده ای کلی می توان گفت که نفوذ در بین دو اندازه گیری نباید از ۲۵ میلیمتر تجاوز کند. معمولاً اندازه گیریها تا زمانی ادامه می یابد که سرعت نفوذ به حد نسبتاً ثابتی رسیده باشد. در خاکهای با سرعت نفوذ کم، زمان مورد نیاز برای رسیدن به سرعت نفوذ ثابت ممکن است بسیار طولانی گردد، در حالی که این زمان برای خاکهای سبکتر، می تواند کوتاهتر باشد.

۳-۴-۸ توصیه می شود که در هنگام آزمایش، نتایج حاصله بر روی کاغذ لگاریتمی ترسیم شود و روند تغییرات شیب، مورد توجه قرار گیرد. آزمایش تا زمانی ادامه می یابد که پس از تغییر شیب، حداقل چهار قرائت صورت گرفته باشد تا به این ترتیب بتوان سرعت نفوذ پایه  $f_0$  را به دست آورد.

۳-۴-۹ وقتی حدود ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر آب استوانه به داخل خاک نفوذ کرد، همین حدود آب به استوانه (استوانه درونی در روش استوانه مضاعف) اضافه می شود. عمق آب در استوانه، قبل و بعد از اضافه کردن آن اندازه گیری می شود. سعی می گردد زمان تلف شده بین دو اندازه گیری به حداقل ممکن کاهش یابد و عمق آب در استوانه بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر حفظ گردد.

۳-۴-۱۰ هرگاه نتایج حاصل از آزمایش به صورت غیرطبیعی کم یا زیاد باشد، لازم است پس از خاتمه آزمایش



لایه‌های خاک و نیمرخ رطوبتی آن در زیر استوانه مورد بررسی قرار گیرد. به طور کلی توصیه می‌شود که در هر شرایطی نیمرخ رطوبتی خاک حداقل در زیر یکی از استوانه‌ها ثبت و بررسی شود.

۳-۴-۱۱ استوانه‌ها پس از خارج کردن از خاک شستشو داده شود تا برای آزمایش بعدی آماده باشد.

#### ۴- محاسبات

تجزیه و تحلیل نتایج اندازه‌گیریها و انجام دادن محاسبات برای تعیین سرعت نفوذ آب در خاک می‌تواند با روش دستی و یا با استفاده از امکانات رایانه‌ای صورت پذیرد. مراحل محاسبات با روش دستی ذیلاً تشریح می‌شود. در مورد استفاده از امکانات رایانه‌ای این نکته قابل توصیه است که در برازش دادن منحنی به نقاط اندازه‌گیری شده، باید امکانات ویرایش اطلاعات و حذف نقاطی که خارج از روند عمومی تغییرات قرار می‌گیرند، وجود داشته باشد. همچنین توجه شود که در استخراج ضرایب معادله نفوذ، قسمتهای ابتدایی منحنی برای تعیین  $a$  و قسمتهای انتهایی آن برای تعیین  $f_0$  مورد استفاده قرار می‌گیرد و بدین ترتیب بهتر است که دو منحنی جداگانه، یکی به قسمتهای ابتدایی و دیگری به بخش انتهایی نقاط برازش داده شود.

#### ۴-۱ روش یک استوانه

- ۴-۱-۱ داده‌های به دست آمده بر روی کاغذ لگاریتمی ترسیم می‌شود. توصیه می‌شود به منظور درک حدود تغییرات سرعت نفوذ در هریک از استوانه‌ها از میانگین‌گیری نتایج تکرارهای مختلف خودداری شود.
- ۴-۱-۲ با توجه به پراکنش نقاط، یک خط راست به نقاط ابتدایی و خط راست دیگری به نقاط انتهایی برازش داده می‌شود. بررسی نتایج آزمایش نشان می‌دهد که عموماً می‌توان دو خط متمایز با شیبهای مختلف در قسمت ابتدا و انتهای نقاط به دست آورد.
- ۴-۱-۳ شیب خط برازش داده شده به قسمت انتهایی نقاط، نمایانگر مقدار  $f_0$  است. بدیهی است، برای به دست آوردن مقدار شیب باید در آزمایشهای متوالی  $\Delta Z$  و  $\Delta t$  را از روی جدول استخراج کرد و نسبت  $\frac{\Delta Z}{\Delta t}$  را به عنوان  $f_0$  پذیرفت. کمترین مقدار شیب معمولاً به عنوان  $f_0$  پذیرفته می‌شود.
- ۴-۱-۴ شیب خط برازش داده شده به قسمت ابتدایی نقاط، نمایانگر مقدار  $a$  است.
- ۴-۱-۵ برای به دست آوردن  $k$  ابتدا  $f_0 t$  در مقابل  $t$  بر روی کاغذ لگاریتمی رسم می‌شود. محل تقاطع خط برازش داده شده با محور نفوذ تجمعی ( $f_0 t$  -  $Z$  در لحظه  $t = 1$  دقیقه) مقدار  $k$  را نشان می‌دهد.
- ۴-۱-۶ معادله نفوذ تجمعی با داشتن  $k$ ،  $a$  و  $f_0$  به صورت  $Z = kt^a + f_0 t$  به دست می‌آید.
- ۴-۱-۷ سرعت نفوذ لحظه‌ای از مشتق‌گیری نفوذ تجمعی نسبت به زمان ( $I = akt^{a-1} + f_0$ ) به دست می‌آید.

۸-۱-۴ میانگین سرعت نفوذ از آغاز آزمایش تا هر لحظه مشخص، از تقسیم نفوذ تجمعی بر زمان  

$$(I_{ave} = \frac{Z}{t} = kt^{a-1} + f_0)$$
 به دست می‌آید.

۹-۱-۴ چنانچه در نظر باشد که معادله نفوذ به دست آمده با یکی از دسته منحنیهای نفوذ (شکل ۱) تطابق داده شود، منحنی حاصل شده بر روی دسته منحنیهای یاد شده ترسیم می‌شود.

۱۰-۱-۴ چنانچه منحنی حاصل شده منطبق بر محدوده یکی از منحنیها بود، می‌توان با استفاده از شماره منحنی، سایر پارامترهای نفوذ را به منظور مقایسه از جدول شماره ۱ استخراج کرد. طراح می‌تواند با توجه به هدف مورد نظر، از یکی از این دو رابطه استفاده کند.

۱۱-۱-۴ چنانچه منحنی حاصل شده منطبق بر یکی از منحنیها نبود و در محدوده ۲ یا ۳ دسته منحنی قرار گرفت، توصیه می‌شود که در درجه اول رابطه به دست آمده از نتایج آزمایش مورد توجه قرار گیرد. در صورتی که طراح بخواهد از نتایج دسته منحنیهای یاد شده استفاده نماید، توصیه می‌شود که شماره منحنی ای مورد توجه قرار گیرد که در فاصله مدت آبیاری مورد نظر، بیشترین تطابق را با منحنی حاصل از آزمایش داشته باشد.

۱۲-۱-۴ سرعت نفوذ پایه ( $f_0$ ) به دست آمده با مندرجات جدول شماره ۲ مطابقت داده می‌شود و نفوذپذیری خاک به صورت توصیفی طبقه بندی می‌گردد.

## ۲-۴ روش استوانه مضاعف

۱-۲-۴ نفوذ تجمعی در زمانهای مختلف محاسبه می‌گردد. توصیه می‌شود که به منظور درک حدود تغییرات سرعت نفوذ در استوانه‌ها از میانگین‌گیری نتایج آنها خودداری شود.

۲-۲-۴ تغییرات نفوذ تجمعی نسبت به زمان برای هر آزمایش بر روی کاغذ لگاریتمی نشان داده شده و بهترین خط مستقیم برازش داده شده به آن رسم می‌شود. بهتر است که ترسیم منحنی به کمک چشم انجام گیرد تا شکستگیهای احتمالی در منحنی که بر اثر وجود سخت لایه و یا عوامل دیگر ممکن است وجود داشته باشد، مشخص گردد.

۳-۲-۴ مقادیر  $k$  و  $a$  به ترتیب با مشخص کردن عرض از مبدأ و شیب خط به دست می‌آید.

۴-۲-۴ معادله منحنی تغییرات نفوذ تجمعی نسبت به زمان با استفاده از رابطه ۴ تعیین می‌شود.

۵-۲-۴ معادله منحنی سرعت نفوذ لحظه‌ای از مشتق‌گیری رابطه ۴ نسبت به زمان به دست می‌آید (رابطه ۵).

۶-۲-۴ منحنی تغییرات نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ لحظه‌ای نسبت به زمان ترسیم می‌گردد.

۷-۲-۴ مقدار سرعت نفوذ متوسط از رابطه ۶ به دست می‌آید و منحنی تغییرات آن نیز رسم می‌گردد. این منحنی باید موازی منحنی سرعت نفوذ لحظه‌ای باشد و منحنی نفوذ تجمعی را در زمان ۶۰ دقیقه قطع کند.

۸-۲-۴ زمان رسیدن به سرعت نفوذ پایه با استفاده از رابطه ۷ و مقدار آن از رابطه ۸ به دست می‌آید.

۴-۲-۹ نتایج حاصل شده از مجموعه آزمایشهای انجام شده در هر محل با یکدیگر مقایسه گردیده و پس از جمع‌بندی و تفسیر نتایج، سرعت و سایر مشخصات نفوذپذیری خاک مشخص می‌گردد.

۴-۲-۱۰ سرعت نفوذ پایه در هر محل با استفاده از جدول ۲ به صورت توصیفی طبقه‌بندی می‌شود.

## ۵- تراکم نقاط آزمایشی

تراکم نقاط آزمایشی در طرحهای کوچک نسبت به طرحهای بزرگ بیشتر است و در شرایط متوسط به شرح زیر توصیه می‌شود:

- در مطالعات مرحله شناسایی یک آزمایش در هر ۲۰۰۰ هکتار
  - در مطالعات مرحله توجیهی، یک آزمایش در هر ۱۰۰۰ هکتار
  - در مطالعات مرحله طراحی، یک آزمایش در هر ۵۰۰ هکتار
- در مراحل شناسایی و توجیهی، مطالعات عمدتاً در شبکه‌ای منظم و در مرحله طراحی به صورت نامنظم برای تعیین حدود تقریبی مناطق با نفوذپذیری متفاوت صورت می‌گیرد.

## ۶- طبقه‌بندی توصیفی نفوذپذیری خاک

نفوذپذیری خاک را می‌توان براساس میزان سرعت نفوذ پایه به شرح جدول شماره ۲ طبقه‌بندی کرد.

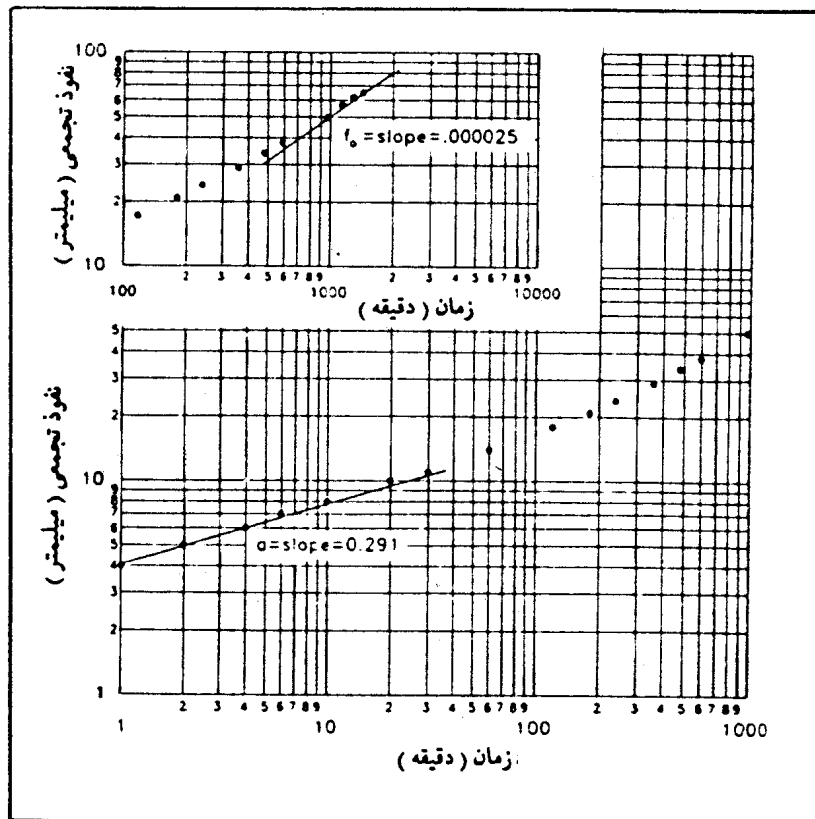
جدول ۲- طبقه‌بندی توصیفی نفوذپذیری خاک

نفوذپذیری	سرعت نفوذ پایه (میلیمتر بر ساعت)
خیلی سریع	بیشتر از ۲۰
سریع	۱۰ تا ۲۰
متوسط	۵ تا ۱۰
آهسته	۲ تا ۵
خیلی آهسته	کمتر از ۲

در جدول شماره ۳ داده‌های یک آزمایش ارائه شده است. شکل ۷ نفوذ تجمعی را نسبت به زمان نشان می‌دهد:

جدول ۳- داده‌های آزمایش نفوذ

قرائت نشانه اشل		قرائت زمان	
نفوذ تجمعی (میلیمتر)	نشانه اشل (میلیمتر)	زمان تجمعی (دقیقه)	زمان (ساعت)
۰	۱۸۷	۰	۸:۰۰
۴	۱۸۳	۱	۸:۰۱
۵	۱۸۲	۲	۸:۰۲
۶	۱۸۱	۴	۸:۰۴
۷	۱۸۰	۶	۸:۰۶
۸	۱۷۹	۱۰	۸:۱۰
۱۰	۱۷۷	۲۰	۸:۲۰
۱۱	۱۷۶	۳۰	۸:۳۰
۱۴	۱۷۳	۶۰	۹:۰۰
۱۸	۱۶۹	۱۲۰	۱۰:۰۰
۲۱	۱۶۶	۱۸۰	۱۱:۰۰
۲۴	۱۶۳	۲۴۰	۱۲:۰۰
۲۹	۱۵۸	۳۶۰	۱۴:۰۰
۳۴	۱۵۳	۴۸۰	۱۶:۰۰
۳۸	۱۴۹	۶۰۰	۱۸:۰۰
۵۰	۱۳۷	۹۶۰	۲۴:۰۰
۵۶	۱۳۱	۱۱۴۰	۳:۰۰
۶۱	۱۲۶	۱۳۲۰	۶:۰۰
۶۵	۱۲۲	۱۴۸۰	۸:۴۰



شکل ۷ - منحنی نفوذ تجمعی نسبت به زمان در آزمایش تک استوانه

از چهار قرائت آخر، شیب منحنی را می توان به روش زیر محاسبه کرد:

جدول ۴ - داده های مورد استفاده برای تعیین  $f_0$

$f_0$ (m/min)	$f_0$ (mm/min)	$\Delta t$ (min)	$\Delta D$ (mm)	D (mm)	زمان (min)
۰/۰۰۰۰۰۳۳	۰/۰۳۳	۱۸۰	۶	۵۰	۹۶۰
۰/۰۰۰۰۰۲۸	۰/۰۲۸	۱۸۰	۵	۵۶	۱۱۴۰
۰/۰۰۰۰۰۲۵	۰/۰۲۵	۱۶۰	۴	۶۱	۱۳۲۰
				۶۵	۱۴۸۰

از داده‌های فوق به خوبی می‌توان دریافت که حتی پس از گذشت ۲۴ ساعت، شیب منحنی در حال کاهش است و هنوز منحنی به صورت یک خط راست در نیامده است. با داده‌های موجود، می‌توان گفت که  $f_0 = 0/0000025$  متر بر دقیقه و یا  $0/0000025$  متر مکعب بر دقیقه بر متر مربع است. در عمل، می‌توان انتظار داشت که این عدد کمی بیشتر باشد. با بررسی داده‌های قسمت اول منحنی، می‌توان  $k$ ،  $a$  را به دست آورد. با در دست داشتن  $f_0$ ، اصلاحات زیر را می‌توان انجام داد:

جدول ۵- داده‌های مورد استفاده برای تعیین  $k$  و  $a$

$Z - f_0 t$ (mm)	$Z$ (mm)	$t$ (min)
۰	۰	۰
۳/۹۷۵	۴	۱
۴/۹۵	۵	۲
۵/۹۰	۶	۴
۶/۸۵	۷	۶
۷/۷۵	۸	۱۰
۹/۵۰	۱۰	۲۰

با برازش یک خط راست بین داده‌های  $(Z - f_0 t)$  و  $t$  می‌توان مقدار  $k$  را یافت.  $k$  از جدول شماره ۵ مستقیماً قرائت می‌شود ( $Z - f_0 t = ۳/۹۷۵$  به ازای  $t = ۱$  دقیقه). بنابراین،  $k = ۳/۹۷۵ \text{ mm/min}^a$  و یا  $k = 0/003975 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}^a$  است. مقدار  $a$  را می‌توان با داشتن مقادیر ابتدا و انتهای این قسمت منحنی ( $t = ۱$  و  $۲۰$  دقیقه) به دست آورد.

$$a = \frac{\log 9/5 - \log 3/975}{\log 20 - \log 1}$$

و یا:

$$a = \frac{\log(9/50 - 3/975)}{\log(20/1)} = 0/291$$

$$Z = 0/003975 t^{0/291} + 0/0000025 t$$

و از آنجا، معادله نفوذ عبارت است از:

که در آن  $t$  بر حسب دقیقه و  $Z$  بر حسب متر است.

سرعت نفوذ لحظه‌ای از مشتق‌گیری نفوذ تجمعی نسبت به زمان و یا استفاده از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$I = (60)(0/291)(0/003975) t^{0/291-1} + (60)(0/000025)$$

$$I = 0/0694t^{-0/709} + 0/0015$$

و یا

که در آن  $t$  برحسب دقیقه و  $I$  برحسب متر بر ساعت است.

میانگین سرعت نفوذ از آغاز آبیاری تا هر لحظه مشخص، از تقسیم نفوذ تجمعی بر زمان و یا استفاده از رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$I_{ave} = (60)(0/003975) t^{-0/709} + (60)(0/000025) = 0/2385t^{-0/709} + 0/0015$$

که در آن  $t$  برحسب دقیقه و  $I_{ave}$  برحسب متر بر ساعت است.

مقایسه نتایج به دست آمده با داده‌های جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که خصوصیات نفوذ خاک مورد آزمایش حالتی بین شماره منحنیهای ۰/۰۵ و ۰/۱۰ را داراست.

## ۲-۷ استوانه مضاعف

با استفاده از داده‌های فرم شماره ۱ ثبت اطلاعات آزمایشهای نفوذپذیری، ابتدا زمان تجمعی و نفوذ تجمعی بر روی محورهای مختصات لگاریتمی برده می‌شود و مناسبترین خط از میان این نقاط برازش داده می‌شود (شکل ۸). ذکر این نکته لازم است که داده‌های فرم شماره ۱ دقیقاً اطلاعات مربوط به جدول شماره ۳ برای مدت زمانی برابر ۶ ساعت از آغاز آزمایش است.

با توجه به شکل مزبور، شیب خط و عرض از مبدا به ترتیب برابر ۰/۳۲۸ و ۰/۳۸۴ نتیجه‌گیری شده است. بنابراین:

$$Z = 0/384t^{0/328}$$

که در آن  $Z$  برحسب سانتیمتر و  $t$  برحسب دقیقه است. چنانچه  $Z$  برحسب متر بیان شود، داریم:

$$Z = 0/00384t^{0/328}$$

معادله سرعت نفوذ لحظه‌ای از مشتق معادله نفوذ تجمعی نسبت به زمان حاصل می‌شود. بنابراین:

$$I = 60 \times 0.328 \times 0.00384 t^{(0.328-1)} = 0.07557 t^{-0.672}$$

که در آن  $I$  برحسب متر بر ساعت است.

میانگین سرعت نفوذ به شرح زیر خواهد بود:

$$I_{ave} = \frac{60Z}{t} = 60 \times 0.00384 t^{-0.672} = 0.2304 t^{-0.672}$$

که در آن  $I_{ave}$  سرعت نفوذ متوسط برحسب متر بر ساعت است.

زمان رسیدن به سرعت نفوذ پایه برابر است با:

$$t_b = 600 |n| = 600 \times 0.672 = 403 \text{ دقیقه}$$

و سرعت نفوذ پایه عبارت است از:

$$I = 0.07557 \times 403^{-0.672} = 0.00134 \text{ متر بر ساعت} = 1.34 \text{ میلیمتر بر ساعت}$$

به این ترتیب سرعت نفوذ پایه در گروه «خیلی آهسته» طبقه‌بندی می‌شود.





نام پروژه :  
محل آزمایش :  
مشاهدات عمده در حین آزمایش و نظرات :

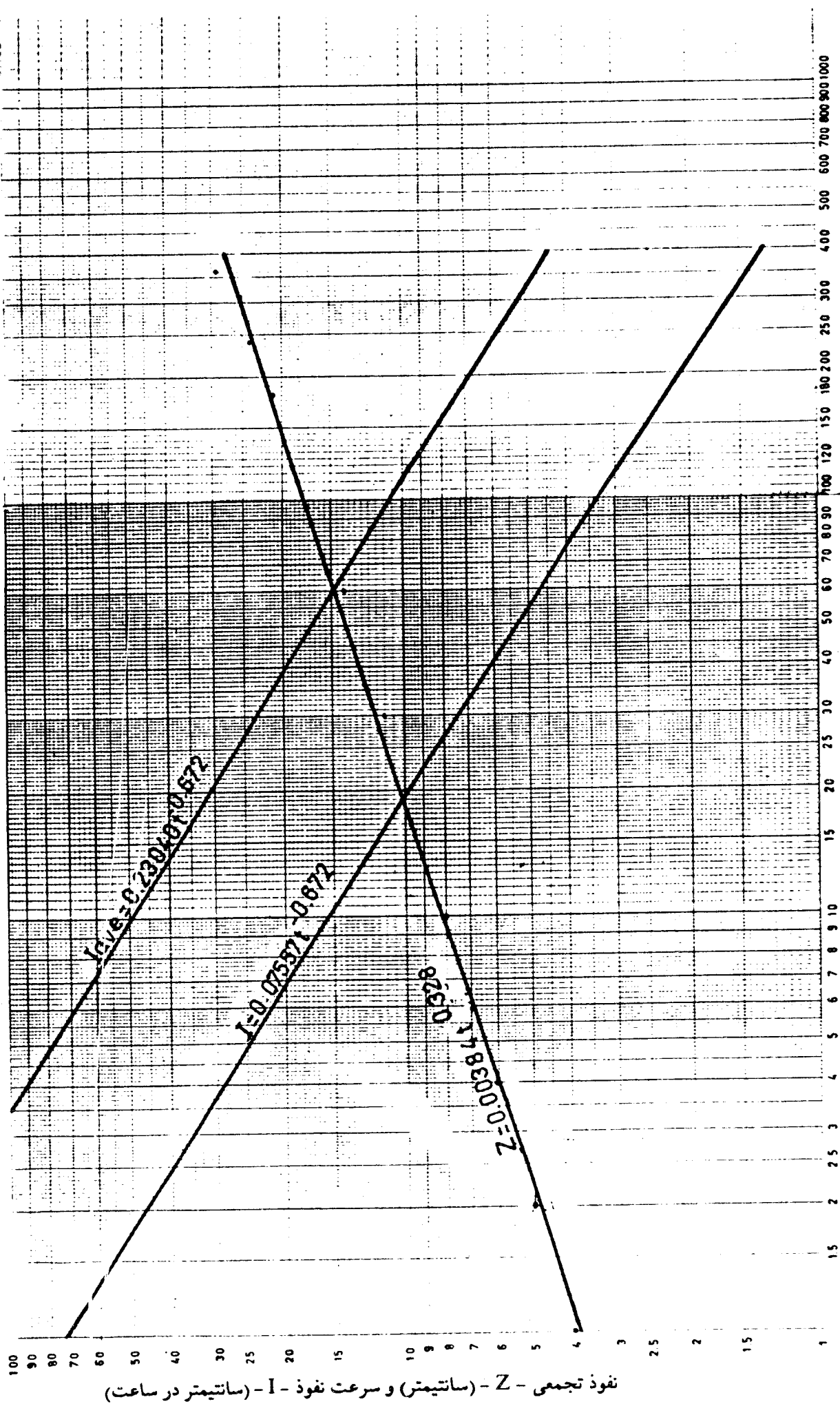
# فرم شماره ۱ - ثبت اطلاعات آزمایشهای نفوذپذیری

نام آزمایش کننده :  
نوع استفاده از راسی :

تاریخ آخرین آبیاری :  
نوع و مرحله رشد گیاه :  
وضعیت آماده سازی زمین :

۶۰-۱۰۰	۳۰-۶۰	۱۵-۳۰	۰-۱۵	عمق خاک cm
				بافت
				درصد رطوبت

استوانه شماره ۱										استوانه شماره ۲										استوانه شماره ۳									
زمان (دقیقه)					نفوذ (سانتیمتر)					زمان (دقیقه)					زمان (دقیقه)					زمان (دقیقه)					زمان (دقیقه)				
ساعت	اختلاف	زمان	اختلاف	زمان	ساعت	اختلاف	زمان	اختلاف	زمان	ساعت	اختلاف	زمان	اختلاف	زمان	ساعت	اختلاف	زمان	اختلاف	زمان	ساعت	اختلاف	زمان	اختلاف	زمان	ساعت	اختلاف	زمان	اختلاف	زمان
۸:۰۰	۱	۱	۱	۱	۱۸/۷	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱۸/۷	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱۸/۷	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱۸/۷	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱۸/۷	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴
۸:۰۱	۱	۲	۲	۲	۱۸/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۸:۰۲	۱	۳	۳	۳	۱۸/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۸:۰۴	۲	۴	۴	۴	۱۸/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۸:۰۶	۲	۵	۵	۵	۱۸/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۸/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۸:۱۰	۴	۱۰	۱۰	۱۰	۱۷/۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۸:۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۷/۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۷	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۸:۳۰	۱۰	۳۰	۳۰	۳۰	۱۷/۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱۷/۶	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۹:۰۰	۳۰	۶۰	۶۰	۶۰	۱۷/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۷/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۷/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۷/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۷/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
۱۰:۰۰	۶۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۶/۹	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱۶/۹	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱۶/۹	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱۶/۹	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱۶/۹	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴
۱۱:۰۰	۶۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۶/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۶/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۶/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۶/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۶/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
۱۲:۰۰	۶۰	۲۴۰	۲۴۰	۲۴۰	۱۶/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۶/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۶/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۶/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۶/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
۱۳:۰۰	۱۲۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۱۵/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱۵/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱۵/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱۵/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱۵/۸	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵



شکل ۸- منحنی نفوذ تجمعی نسبت به زمان در آزمایش استوانه مضاعف  
زمان تجمعی - l - (دقیقه)

نتایج حاصل از دو روش تک استوانه و استوانه مضاعف در جدول زیر خلاصه شده است:

جدول ۶- نتایج حاصل از دو روش

شرح	تک استوانه	استوانه مضاعف
معادله نفوذ تجمعی	$Z = 0.003975t^{0.791} + 0.000025t$	$Z = 0.00384t^{0.728}$
معادله سرعت نفوذ لحظه‌ای	$I = 0.0694t^{-0.709} + 0.0015$	$I = 0.0755t^{-0.672}$
معادله سرعت نفوذ متوسط	$I_{ave} = 0.2385t^{-0.709} + 0.0015$	$I_{ave} = 0.2304t^{-0.672}$
زمان تقریبی رسیدن به سرعت نفوذ پایه (دقیقه)	۱۰۰۰	۴۰۰
نفوذ پایه (متر بر ساعت)	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۳۴

به طوری که ملاحظه می‌شود، اساس اختلاف ناشی از این است که آیا باید منحنی نفوذ تجمعی را در مختصات لگاریتمی به صورت یک خط مستقیم دانست و یا این که این فرض را نپذیرفت. به منظور مقایسه تفاوت بین دو روش، مقادیر  $I$ ,  $Z$  و  $I_{ave}$  با استفاده از بررسی نتایج حاصل شده، معین شده و براین اساس جدول شماره ۷ تنظیم گردیده است. از آن جا که زمان رسیدن به سرعت نفوذ پایه، ۱۰۰۰ دقیقه است، ولی در روش استوانه مضاعف تنها داده‌های تا ۴۰۰ دقیقه مورد توجه قرار گرفته‌اند، اختلافاتی در تفسیر نتایج وجود دارد. مهمترین اختلاف در میزان سرعت نفوذ پایه است. این پارامتر که مهمترین ویژگی و مهمترین هدف آزمایش است، در دو روش حدود ده درصد با یکدیگر تفاوت دارد. این مقدار اختلاف در آزمایشهای صحرایی از اهمیت چندانی برخوردار نیست. قابل ذکر است که هریک از دو روش یاد شده از مبانی نظری و کاربردی معتبر و قابل قبولی برخوردارند. از آن جا که تاکنون اطلاعات زیادی در مراجع معتبر در مورد مقایسه دو روش انتشار نیافته است، بنابراین نمی‌توان یکی از آنها را به صورت قاطع توصیه کرد و دیگری را مردود به شمار آورد. بدین ترتیب براساس اطلاعات موجود، هر دو روش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

جدول شماره ۷- مقایسه  $I_{ave}$ ,  $I$ ,  $Z$  در دو روش

شرح	زمان (دقیقه)	واحد	تک استوانه	استوانه مضاعف
Z	۱۰۰	متر	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۷۴
	۳۰۰		۰/۰۲۸۴	۰/۰۲۴۹
	۵۰۰		۰/۰۳۶۸	۰/۰۲۹۵
	۸۰۰		۰/۰۴۷۸	۰/۰۳۴۴
	۱۰۰۰		۰/۰۵۴۷	۰/۰۳۷۰
I	۱۰۰	متر بر ساعت	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۴
	۳۰۰		۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۱۶
	۵۰۰		۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱۲
	۸۰۰		۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۸
	۱۰۰۰		۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۰۷
$I_{ave}$	۱۰۰	متر بر ساعت	۰/۰۱۰۶	۰/۰۱۰۴
	۳۰۰		۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۵۰
	۵۰۰		۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۳۵
	۸۰۰		۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۶
	۱۰۰۰		۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۲۲

## ۱- روش کرتهای کوچک<sup>۱</sup>

در این روش مرزهای کوچکی اطراف قطعه زمین مورد آزمایش ایجاد می‌گردد و افت سطح آب درون کرت نسبت به زمان، همانند روش استوانه اندازه‌گیری می‌شود. از مزایای این روش امکان انجام دادن آزمون در سطح بزرگتر و شرایط طبیعی مزرعه است. از معایب مهم این روش می‌توان به آثار نشت جانبی از اطراف کرت اشاره کرد. برای رفع این نقیصه می‌توان سطح کرت آزمایش را بزرگتر انتخاب کرد و یا به هر ترتیب مقتضی، دیواره‌های جانبی را تا حد ممکن غیرقابل نفوذ ساخت. در این روش معادلات، جداول و محاسبات عیناً همانند روش استوانه است.

## ۲- روش جریان ورودی - جریان خروجی<sup>۲</sup>

میزان جریان ورودی به هر مزرعه را می‌توان با انواع وسایل اندازه‌گیری کرد. با استفاده از ارقام اندازه‌گیریها و با در نظر گرفتن زمان، هیدروگرافی به دست می‌آید که از طریق انتگرال‌گیری از آن، حجم آب ورودی مشخص می‌گردد. در شرایطی که جریان ثابت باشد، حجم آب ورودی از حاصل ضرب آبدهی در زمان به دست می‌آید. به همین ترتیب هیدروگراف جریان خروجی (سطحی) از مزرعه ضمن اندازه‌گیری آبدهی در انتهای مزرعه قابل تهیه است. تفاوت سطوح هیدروگرافهای ورودی و خروجی پس از اتمام آزمایش، نمایانگر حجم کل آب نفوذ یافته به خاک است. پارامتر دیگری که از طریق تحلیل هیدروگرافهای ورودی و خروجی حاصل می‌گردد (در حالات همگام، یعنی ثابت بودن بده جریانهای ورودی و خروجی) سرعت نفوذ پایه است. همچنین از طریق هیدروگرافهای جریانهای ورودی و خروجی با تعیین میزان  $f_0$  می‌توان مقدار آب ذخیره شده سطحی را در زمان قطع جریان به دست آورد.

## ۳- روش نشتی سروته بسته<sup>۳</sup>

از آن جا که موارد مرتبط با نفوذ جانبی در نشتیها در بعضی از روشها مورد توجه قرار نمی‌گیرد، به منظور مطالعه خصوصیات نفوذ در نشتیها می‌توان از روش «نشتی سروته بسته» نیز استفاده کرد. در این روش، دو صفحه لبه تیز با فاصله مشخص در دو سوی قسمتی از نشتی به داخل خاک رانده می‌شود و سپس مشخصات هندسی مقطع نشتی تعیین می‌گردد. پس از پر کردن نشتی از آب، عمق آب در آن اندازه‌گیری می‌شود

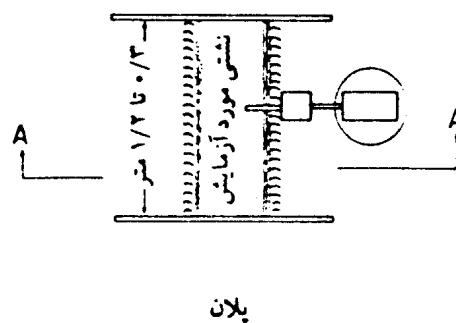
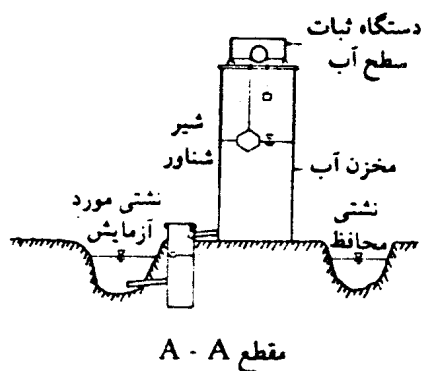
1. Ponding Method

2. Inflow - Outflow Method

3. Blocked Furrow Method

( $t = 0$ )، سپس افت سطح آب نسبت به زمان اندازه‌گیری می‌گردد. در صورت لزوم حجم مشخصی از آب به نشتی افزوده می‌شود. از آن‌جا که با کاهش عمق آب از سطح، نفوذ از نشتی نیز کاهش می‌یابد، بهتر است که سطح آب در داخل نشتی مطابق شکل شماره ۱ ثابت نگه داشته شود.

در روشهای استوانه و کرتهای کوچک که در آنها جریان قائم آب به خاک مورد توجه است، وجود منطقه محافظ<sup>۱</sup> تاثیری در نتیجه کار ایجاد نمی‌کند، در حالی که در روشهایی که نفوذپذیری در نشتیها را اندازه‌گیری می‌کند، منطقه محافظ می‌تواند آثار مهمی را در نتیجه کار ایجاد نماید. در خاکهای رسی و لای دار که در آنها معمولاً قبل از رسیدن جبهه رطوبتی<sup>۲</sup> دو نشتی مجاور به یکدیگر، سرعت نفوذ پایه حاصل می‌شود، عموماً نیازی به منظور کردن منطقه محافظ احساس نمی‌شود. بالعکس در خاکهای شنی معمولاً سرعت نفوذ پایه پس از برخورد دو جبهه رطوبتی نشتیهای مجاور حاصل می‌گردد و از این رو عموماً در نظر گرفتن منطقه محافظ (نشتیهای آبدار مجاور) ضرورت دارد.



شکل شماره ۱، شمای اندازه‌گیری نفوذ به روش نشتی سروته بسته (واکرواسکوگربو<sup>۳</sup> ۱۹۸۰)

#### ۴- روش نفوذسنج با چرخش آب<sup>۴</sup>

یکی دیگر از روشهای ابداعی ارزیابی نفوذ به ویژه در آبیاری نشتی، روش "نفوذسنج با چرخش آب" است. از مزایای این روش می‌توان به ملحوظ کردن خصوصیات هندسی و هیدرولیک شرایط واقعی در انجام دادن آزمایش اشاره کرد. در این روش شرایط واقعی و پویا (دینامیکی) در حد فاصل آب و خاک منظور می‌گردد. به عبارت دیگر حرکت ذرات خاک به وسیله جریان، و معلق گردیدن آنها که در شرایط پایا (استاتیک) نظیر: روشهای استوانه، کرتهای کوچک و روش نشتی سروته بسته، مورد توجه قرار نمی‌گیرد، در این روش منظور می‌گردد. در روشهای پایا به علت رسوب مواد معلق در آب، عموماً لایه‌ای محدود کننده در حد فاصل آب و خاک تشکیل می‌گردد که معمولاً نفوذپذیری کمتری را به دست می‌دهد. نفوذسنج با چرخش آب در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

1. Buffer Zone

2. Moisture / Wetting Front

3. Walker And Skogerboe

4. Recycling Infiltrrometer

در هر دو طرف نشتی به طول ۵-۶ متر دو مخزن کوچک نصب می‌گردد. نصب مخازن بایستی با دقت خاصی صورت گیرد به طوری که لبه هر مخزن با کف نشتی در یک تراز قرار گیرند. آب به کمک یک شیلنگ از منبع اصلی به مخزن بالایی انتقال می‌یابد و پس از عبور از نشتی در مخزن پایینی جمع می‌شود. سپس پمپ دیگری، آب جمع‌آوری شده در مخزن پایینی را به منبع اصلی برمی‌گرداند. بده سیستم را می‌توان با شیرهای مختلف تنظیم کرد، به نحوی که سطح آب در مخزن پایینی ثابت نگه داشته شود.

همانند روش نشتی سروته بسته، در این روش نیز سطح مقطع نشتی را باید اندازه‌گیری کرد و نسبت آن را با منبع اصلی آب پیدا کرد. به این ترتیب، تابع نفوذ تجمعی، به همان روشی به دست می‌آید که در روش استوانه و روش کرتهای کوچک حاصل می‌گردد. به عبارت دیگر، با استفاده از قرائت سطح آب در منبع اصلی می‌توان نفوذ تجمعی را پیدا کرد. بدیهی است که در این راه باید ضریب مساحت نشتی به سطح مقطع منبع آب را نیز مورد توجه قرار داد. زمان موردنیاز برای رسیدن آب به انتهای نشتی را می‌توان با افزایش بده نشتی به مدت چند دقیقه، کاهش داد. کاهش حجم آب در منبع اصلی، نشان‌دهنده حجم آبی است که در نشتی نفوذ یافته است.

## ۵- روش دونقطه<sup>۱</sup>

این روش براساس اندازه‌گیریهای مزرعه‌ای استوار است، که از طریق معادله بیلان حجم<sup>۲</sup> پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف - لوئیس را ارائه می‌نماید. به طور کلی کاربرد این روش مناسب برای مزارع شیب دار است. دونقطه مورد نظر برای اندازه‌گیریهای لازم، حد وسط و انتهای مزرعه‌اند. در این روش با معلوم‌بودن میزان نفوذ پایه ( $f_0$ ) می‌توان سایر محاسبات مربوط را به انجام رسانید و برای تعیین مقدار نفوذ پایه می‌توان از روشهای مختلفی از جمله: تحلیل هیدروگراف جریان ورودی - جریان خروجی استفاده کرد. همچنین در این روش علاوه بر نفوذ پایه، میزان جریان ورودی تا زمان پیشروی آب به وسط و انتهای مزرعه و بالاخره سطح مقطع جریان ورودی را بایستی مشخص کرد. سطح مقطع جریان ورودی از رابطه مانینگ<sup>۳</sup> و جریان ورودی به وسیله فلوم قابل اندازه‌گیری است.

## ۶- روش یک نقطه<sup>۴</sup>

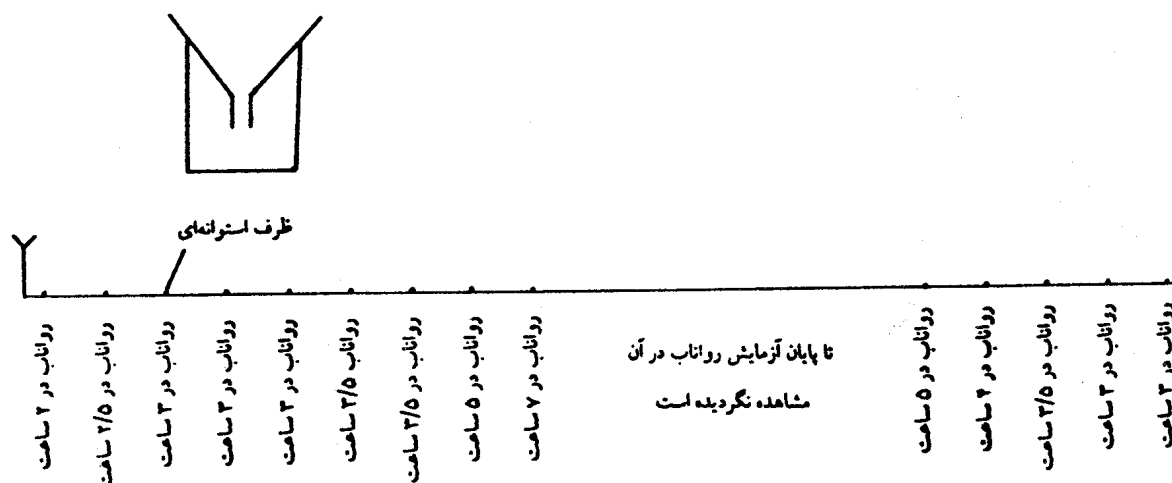
در این روش مانند طریقه دو نقطه، از معادله بیلان حجم استفاده می‌شود، لیکن در این حالت، پارامترهای اندازه‌گیری شده در معادله نفوذ فیلیپ به کار می‌رود. در این حالت، برخلاف روش بالا نیاز به زمان پیشروی در وسط مزرعه نیست، ولی سایر پارامترهای ورودی روش دو نقطه مورد نیازند. بدین ترتیب در این روش به میزان دبی ورودی، سطح مقطع جریان ورودی از بالادست و زمان رسیدن آب به انتهای مزرعه نیاز است.

1. Two Point Method
3. Manning Equation

2. Volume Balance
4. One Point Method

## ۷- روش بارشی<sup>۱</sup>

این روش مناسبترین روش برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ پایه برای اعمال آبیاری بارانی است. در این روش ابتدا قطعه زمین کوچکی که معرف اراضی باشد، انتخاب می‌گردد. سپس در آن یک آبپاش که روی پایه‌ای سوار است، طوری مستقر می‌گردد که قطعه انتخابی زیر پوشش قرار گیرد. در امتداد یک شعاع پاشش، ظروفی استوانه‌ای شکل به فواصل حدود ۰/۵ متر از یکدیگر قرار داده می‌شود. برای کاهش تبخیر از ظروف استوانه‌ای، بهتر است که در سر آن، یک قیف قرار داده شود؛ سپس آبیاری بارانی آغاز می‌گردد. ناظر آزمایش به دقت وضعیت بارندگی و تشکیل رواناب را مورد ملاحظه قرار می‌دهد. به محض ایجاد رواناب در حوالی هر یک از ظروف استوانه‌ای، حجم آب داخل استوانه و زمان اندازه‌گیری شده و سرعت نفوذی که در آن رواناب اتفاق افتاده است، محاسبه می‌گردد. آزمایش به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا در دراز مدت سرعت نفوذ پایه به دست آید. سرعت نفوذ پایه برابر میانگین شدت بارش در ظرفی است که در درازمدت، رواناب در آن به میزان ناچیزی به وجود آید.



میانگین شدت بارش مساوی سرعت نفوذ پایه



- 1 - Ames Irrigation Handbook, A.W.Mc Culloch, et al. 1976.
- 2 - Design & Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE.
- 3 - Drainage Principles & Applications, ILRI, Wageningen, 1979.
- 4 - Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems, W.R.Walker, FAO Irrigation & Drainage Paper No. 45, United Nations, 1989.
- 5 - Handouts on Farm Irrigation System Design, G.E. Stringham, Utah State University, 1976.
- 6 - Manual of Land Classification for Irrigation , P.J.Mahler, Pub # 205, Soil Institute of IRAN, 1979.
- 7 - The Use of Cylinder Infiltrometers to Determine the Intake Characteristics of Irrigated Soils, Agricultural Research Service & Soil Conservation Service, USDA, 1956.

- ۱- زهکشی اراضی ، لامبرت اسمیدما، دیویدرای کرافت ، ترجمه و تدوین امین علیزاده ، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد ، ۱۳۶۶.
- ۲- اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک ، محمد بایبوردی ، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران ، ۱۳۶۲.
- ۳- آبیاری موجی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۱۳۷۵

Islamic Republic of Iran

# **Manual for Infiltration Rate Measurement by Cylinder Infiltrameter Method**

**No: 243**

Management and Planning Organization  
Office of the Deputy for Technical Affairs  
Bureau of Technical Affairs and Standards

Ministry of Energy  
Water Engineering Standards Plan  
Iran Water Resources Management Organization

2001/2002



## این نشریه

با عنوان دستورالعمل اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با روش استوانه است که در آن، نحوه و دستورالعمل اندازه‌گیری خصوصیات نفوذ آب به خاک به روش‌های استوانه مضاعف و تک استوانه مورد بحث قرار گرفته است. هدف از ارائه این دستورالعمل، تعیین پارامترهای مختلف نفوذ آب در خاک شامل: سرعت نفوذ لایه‌ای آب به خاک، تعیین عمق آب قابل نفوذ به خاک در مدت زمان معین، تعیین سرعت نفوذ پایه و به طور کلی مشخص نمودن معادلات و خصوصیات نفوذ آب به خاک و استفاده از آنها در طرح‌های آبیاری، زهکشی سطحی و زهکشی زیرزمینی می‌باشد.

معاونت امور پشتیبانی  
مرکز مدارک علمی و انتشارات

ISBN 964-425-323-X



9 789644 253232