

جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

راهنمای برآورد ضریب زهکشی زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه خشک

نشریه شماره ۴۹۲

وزارت نیرو

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

<http://seso.moe.org.ir>

معاونت نظارت راهبردی

دفتر نظام فنی اجرایی

<http://tec.mporg.ir>



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

شماره:	۱۰۰/۳۷۴۸۰
تاریخ:	۱۳۸۸/۴/۲۴

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

موضوع:

راهنمای برآورد ضریب زهکشی زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه‌خشک

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۹۲ دفتر نظام فنی اجرایی، در دو جلد با عنوان «راهنمای برآورد ضریب زهکشی زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه‌خشک» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی ارسال کنند.

امیرمنصور برقی

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علی‌شاه، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱، معاونت
برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی
Email: tsb.dta@mporg.ir web: <http://tec.mporg.ir/>

پیشگفتار

طبق نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل پیدایش، مطالعات توجیهی، طراحی پایه و تفصیلی، اجرا، راه‌اندازی، تحویل و شروع بهره‌برداری طرح‌ها و پروژه‌های سرمایه‌گذاری به لحاظ رعایت جنبه‌های توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، تامین کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور) با همکاری معاونت نظارت راهبردی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی (دفتر نظام فنی اجرایی) به استناد آیین‌نامه اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای صنعت آب کرده است. استانداردهای صنعت آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصص‌ها و تجربه‌های کارشناسان و صاحبان‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی؛
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی؛
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادهای واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت؛
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور؛
- توجه به اصول و موازین مورد عمل موسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران و سایر موسسات تهیه‌کننده استاندارد. راهنمای حاضر با هدف ارائه اطلاعات کلی برای کارشناسان فنی و برنامه‌ریزان جهت شناخت و برآورد ضریب زهکشی زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه‌خشک تهیه شده است.

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با به کارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیت‌های کشور تلاش کرده و صاحبان‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند. با همه‌ی تلاش انجام‌شده قطعاً هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که ان‌شاء... کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد کرد.

در پایان، از تلاش و جدیت مدیرکل محترم دفتر نظام فنی اجرایی، سرکار خانم مهندس بهناز پورسید و کارشناسان این دفتر، نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد حاج‌رسولیه‌ها و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۸

ترکیب اعضای تهیه کننده

این راهنما در پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس با مسوولیت خانم مهندس وزیری و همکاری افراد زیر تهیه شده است. اسامی این افراد به ترتیب حروف الفبا به شرح زیر می باشد:

آقای محمدرضا انتصاری	کارشناس آزاد	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
آقای کورش محمدی	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی
خانم ژاله وزیری	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی

گروه نظارت که مسوولیت نظارت تخصصی بر تدوین این راهنما را به عهده داشته اند، به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای مجتبی اکرم	شرکت مهندسین مشاور کاماب پارس	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
آقای ابراهیم پذیرا	دانشگاه آزاد- واحد علوم و تحقیقات و فناوری	دکترای مهندسی منابع آب
خانم انسیه محرابی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	فوق لیسانس مهندسی تاسیسات آبیاری

اعضای کمیته تخصصی آبیاری و زهکشی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور که بررسی و تایید راهنمای حاضر را به عهده داشته اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای علیرضا آراستی	شرکت مدیریت منابع آب	لیسانس مهندسی آبیاری
آقای ابراهیم پذیرا	دانشگاه آزاد- واحد علوم و تحقیقات و فناوری	دکترای مهندسی منابع آب
آقای احمد پورزند	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	لیسانس مهندسی آبیاری
آقای محمدصادق جعفری	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
آقای سیدمجتبی رضوی نبوی	شرکت مدیریت منابع آب	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
آقای سیدرحیم سجادی	وزارت جهاد کشاورزی	لیسانس مهندسی آبیاری
آقای محمد کاظم سیاهی	شرکت مهندسین مشاور پندام	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی و مهندسی عمران
آقای محمدحسن عبدالله شمشیرساز	شرکت مهندسین مشاور پژوهاب	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
خانم انسیه محرابی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	فوق لیسانس مهندسی تاسیسات آبیاری
آقای محمدجواد منعم	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی

کارشناسان معاونت نظارت راهبردی:

آقای علیرضا دولتشاهی	دفتر نظام فنی اجرایی	لیسانس مهندسی کشاورزی
خانم فرزانه آقارضانعلی	دفتر نظام فنی اجرایی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
خانم شهرزاد روشن خواه	دفتر نظام فنی اجرایی	کارشناس ارشد مهندسی عمران - ژئوتکنیک

بدین وسیله معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور از زحمات تمام کارشناسان و متخصصان یادشده که در تهیه و تدوین این نشریه همکاری داشته اند، سپاسگزاری می نماید.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول - کلیات
۵	۱-۱- هدف
۵	۲-۱- دامنه کاربرد
۵	۳-۱- تعاریف و مفاهیم
۹	فصل دوم - روش‌های تعیین ضریب زهکشی زیرزمینی
۱۱	۱-۲- کلیات
۱۳	۲-۲- موارد و ملاحظه‌های مربوط به محاسبه ضریب زهکشی زیرزمینی
۱۳	۳-۲- منشا و میزان نفوذ عمقی و شدت تخلیه آب در زمین‌های تحت آبیاری
۱۵	۱-۳-۲- برآورد میزان نفوذ عمقی بارندگی در زمین‌های مسطح
۱۶	۲-۳-۲- تعیین میزان نشت آب آبیاری در فرآیندهای انتقال و توزیع در مزرعه
۱۷	۳-۳-۲- تعیین میزان نفوذ عمقی کاربرد آبیاری در مزرعه
۲۱	۴-۳-۲- عوامل موثر بر ایجاد نفوذ عمقی در زمین‌های تحت آبیاری و میزان تاثیر آن‌ها
۲۱	۱-۴-۳-۲- ویژگی‌های فیزیکی خاک
۲۴	۲-۴-۳-۲- روش‌های متفاوت آبیاری
۲۵	۳-۴-۳-۲- کیفیت شیمیایی آب آبیاری و خاک
۲۷	۴-۴-۳-۲- کنترل شوری و نیاز آشوبی
۲۹	۵-۴-۳-۲- سایر عوامل موثر بر نفوذ عمقی و میزان تاثیر آن‌ها
۳۰	۵-۳-۲- منشا و شدت جریان قائم به سمت بالا تحت فشار آرتزین
۳۱	۱-۵-۳-۲- فشار آرتزین لایه‌های آبدار
۳۱	۲-۵-۳-۲- هدایت هیدرولیک قائم خاک
۳۱	۳-۵-۳-۲- محاسبه شدت جریان قائم به سمت بالا
۳۲	۴-۵-۳-۲- مفهوم مقاومت هیدرولیکی
۳۳	۵-۵-۳-۲- وضعیت و چگونگی ضخامت لایه‌های محدودکننده
۳۴	۶-۵-۳-۲- برآورد میزان نفوذ عمقی آب در شرایط مختلف کشت
۳۵	۴-۲- روش‌های تعدیل میزان نفوذ عمقی و تبدیل آن به شدت تخلیه یا ضریب زهکشی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۷	فصل سوم- کاربرد و تعدیل ضریب زهکشی زیرزمینی در طراحی سامانه‌های زهکشی
۳۹	۱-۳- جنبه‌های کاربرد ضریب زهکشی زیرزمینی
۴۱	۲-۳- رهنمودهای لازم در مورد تبدیل و تعدیل ضریب زهکشی زیرزمینی
۴۲	۳-۳- ضرورت بررسی و مقایسه ضریب زهکشی زیرزمینی به برآوردی با مقادیر واقعی
۴۵	پیوست
۵۳	منابع و مراجع

مقدمه

ضریب زهکشی زیرزمینی از جمله معیارهای طراحی عمق و فاصله سامانه‌های زهکشی زیرزمینی با فرض ماندگار بودن جریان است که به صورت یک پارامتر صریح به کار گرفته می‌شود. در جریان غیرماندگار، ضریب زهکشی زیرزمینی یک پارامتر ضمنی است و بر مبنای شدت تغذیه آب زیرزمینی در فاصله دو آبیاری یا بارندگی و خیز سطح ایستابی ناشی از آن، مطرح می‌شود. ضریب زهکشی زیرزمینی به روش‌های مختلف برآورد و تعیین می‌شود. برآورد زیاد مقدار ضریب زهکشی موجب می‌شود که شبکه زهکش‌های زیرزمینی، متراکم و طرح زهکشی پرهزینه شود و در صورت انتخاب این ضریب به مقدار کم‌تر، بالا آمدن سطح ایستابی در محدوده توسعه ریشه به مدت طولانی، ریشه گیاهان را از بهره‌گیری بهینه از آب، هوا و عناصر غذایی محروم و شرایط خاک را برای انجام عملیات کشاورزی مشکل می‌کند. بنابراین برآورد بهینه ضریب زهکشی با هدف تهیه اقتصادی‌ترین طرح با کارایی مطلوب که همان کنترل هم‌زمان سطح ایستابی در بالاترین حد مناسب برای تامین شرایط تهویه ریشه گیاهان و میزان شوری در سطح و در درون نیمرخ خاک در بیش‌ترین مقدار قابل تحمل گیاه بدون کاهش عملکرد می‌باشد، بهینه‌سازی ضریب زهکشی محسوب می‌شود.

اندازه‌گیری میانگین زه‌آب خروجی از مزارع مشابه یا مزارع آزمایشی که در حال زهکشی هستند، بهترین راهنما برای برآورد این ضریب می‌باشد. در شرایطی که سامانه‌های زهکشی زیرزمینی بدون داشتن مزارع آزمایشی طراحی و اجرا می‌شوند، ضریب زهکشی با تعیین یا برآورد منابع تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی محاسبه می‌شود.

در مناطق خشک و نیمه خشک، میزان بارش برای تامین آب مورد نیاز گیاهان در کل فصل یا ماه‌هایی از فصل رشد کافی نمی‌باشد و کشاورزی به آبیاری وابسته است. در این مناطق، نفوذ عمقی (فرونشت) آب در فرآیند آبیاری مزارع، نشت (تراوش) آب از آبراهه‌ها و نهرچه‌های آبیاری در فرآیند انتقال و توزیع و همچنین، نشت آب زیرسطحی و زیرزمینی از مناطق بالادست، منابع اصلی تغذیه آب زیرزمینی و علت بالا آمدن سطح ایستابی در زمین‌های تحت آبیاری می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه خشک، معیارهای طراحی سامانه‌های زهکشی زیرزمینی برای کنترل مطلوب سطح ایستابی و شوری در محدوده توسعه ریشه گیاهان در فصل زراعی تعیین می‌شود.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- هدف

این نشریه با هدف استاندارد کردن روش‌های برآورد ضریب زهکشی زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه خشک ارایه شده است.

۱-۲- دامنه کاربرد

در این راهنما نحوه محاسبه و تعیین ضریب زهکشی زیرزمینی یا شدت تخلیه زهکش‌های زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه خشک که به طور عمده عملیات آبیاری، منشا تغذیه آب زیرزمینی باشد، ارایه شده است.

۱-۳- تعاریف و مفاهیم^۱

در تهیه این استاندارد از تعاریف و مفاهیم زیر استفاده شده است:

Groundwater	آب زیرزمینی - مخزن آبی که در لایه‌های اشباع تشکیل می‌شود و قابل بهره‌برداری می‌باشد.
Readily Available Water	آب سهل‌الوصول - بخشی از مقدار آب خاک در حد فاصل بین ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم، که به آسانی قابل استفاده گیاه است.
Effective Rainfall	بارندگی موثر - در کشاورزی، بخشی از بارندگی کل که برای گیاه قابل استفاده است.
Discharge	تخلیه - خروج آب از لایه آبدار زیرزمینی با زهکشی طبیعی یا مصنوعی.
Management Allowed Depletion Recharge	تخلیه مجاز مدیریتی - کاهش مجاز رطوبت خاک محدوده توسعه ریشه گیاهان که علاوه بر عوامل فیزیکی موثر بر ضریب تخلیه به عوامل مدیریتی و اقتصادی طرح آبیاری بستگی دارد.
Subsurface Flow	تغذیه - نفوذ و ورود آب به لایه آبدار زیرزمینی.
Unsteady Flow	جریان زیر پوسته‌ای (زیرسطحی) - قسمتی از آب نفوذی باران یا برف که در لایه‌های اولیه خاک به طور جانبی جریان می‌یابد.
Steady Flow	جریان غیرماندگار - جریانی که مشخصه‌های هیدرولیکی آن نظیر بده و سرعت جریان در هر مکان نسبت به زمان تغییر می‌کند.
Surface Runoff	جریان ماندگار - جریانی که مشخصه‌های هیدرولیکی آن نظیر بده و سرعت جریان در هر مکان نسبت به زمان ثابت است.
Drain	رواناب سطحی - مقداری از آب آبیاری یا بارندگی است که در سطح زمین جاری می‌شود.
Lateral Drain	زهکش - آبراهه طبیعی یا مجرای ساخته شده‌ای که زه‌آب را جمع‌آوری و منتقل می‌کند.
	زهکش جانبی - زهکشی است که به طور مستقیم، آب اضافی نیمرخ خاک را جمع‌آوری و به

۱- در تهیه این بخش از منابع مختلف از جمله فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم: آبیاری، استفاده شده است [۶]. واژه‌ها به ترتیب الفبای فارسی ارایه شده است.

	وسیله زهکش‌های جمع‌کننده تخلیه می‌کند. به زهکش جانبی، زهکش فرعی یا زهکش مزرعه‌ای نیز گفته می‌شود.
Collector Drain	زهکش جمع‌کننده - زهکش روباز یا روبسته‌ای که زه‌آب را از زهکش‌های جانبی دریافت می‌کند. زهکش جمع‌کننده روباز می‌تواند رواناب سطحی را نیز دریافت و به خروجی منتقل کند.
Interceptor Drain	زهکش حایل - زهکش روباز یا روبسته‌ای که به طور معمول، عمود بر جهت جریان آب زیرزمینی ساخته می‌شود و از ورود آب لایه‌های سطحی خاک بالادست به مناطق پست جلوگیری می‌کند.
Drainage	زهکشی - در کشاورزی، جمع‌آوری و خارج کردن آب اضافی از سطح و نیمرخ خاک‌های زراعی به میزانی که امکان رشد و نمو مطلوب گیاه و تولید محصول فراهم شود.
Subsurface Drainage	زهکشی زیرزمینی - جمع‌آوری و تخلیه آب‌های اضافی از نیمرخ خاک
Surface Drainage	زهکشی سطحی - جمع‌آوری و خارج کردن آب‌های اضافی از سطح خاک
Natural Drainage	زهکشی طبیعی - جریان طبیعی زه‌آب به خارج از محدوده زهکشی و یا به اعماق زیرین خاک.
Soil Structure	ساختمان خاک - ترتیب قرار گرفتن ذرات خاک در خاکدانه‌ها که به شکل‌ها و اندازه‌های گوناگون دیده می‌شود.
Water Table	سطح ایستابی - بخش بالایی لایه اشباع خاک در شرایطی که آب زیرزمینی با یک سازند نفوذ ناپذیر بالایی محدود نشده باشد. در این سطح، فشار آب مساوی فشار اتمسفر است.
Hydraulic Gradient	شیب هیدرولیکی - کاهش بار هیدرولیکی بر واحد طول در جهت جریان.
Capillary Rise	صعود مویینه‌ای - حرکت آب به سمت بالا در ستون قائم خاک از سطح یک سفره آب زیرزمینی بر اثر خاصیت مویینگی.
Unconfined Aquifer	لایه آبدار آزاد - لایه‌های زمین‌شناسی متخلخل که قادر به نگهداری و تامین آب زیرزمینی به مقدار قابل‌ملاحظه بوده و فشار آب در آن برابر فشار اتمسفر است.
Artesian Aquifer (Confined)	لایه آبدار آرتزین (محصور) - لایه آبداری که در آن سفره آب به اندازه‌ای که بتواند آب را به بالای سطح زمین برساند، تحت فشار است.
Waterlogging	ماندابی - پدیده آب ماندگی در سطح زمین به علت کمی نفوذ آب در خاک یا تجمع آب در عمق توسعه ریشه گیاهان به علت وجود لایه کم تراوا در عمق خاک.
Wetted Perimeter	محیط (پیرامون) خیس شده - طول خط تماس آب با مقطع زه‌آب یا لوله در جهت عمود بر جریان
Seepage	نشست (تراوش) - حرکت آهسته آب از درون منافذ (خلل و فرج) و شکاف‌های خاک که از یک منبع آب سطحی یا زیرزمینی یا به سوی آن روان باشد.
Infiltration	نفوذ - جریان یا حرکت آب از سطح خاک به درون آن.

Deep Percolation

نفوذ (فرونشت) عمقی - حرکت آب آبیاری یا بارندگی به سمت پایین در خاک‌های اشباع یا نزدیک به اشباع تحت شیب هیدرولیکی یک یا کم‌تر از آن.

فصل ۲

روش‌های تعیین ضریب زهکشی

زیرزمینی

۲-۱- کلیات

اولین کاربرد مفهوم ضریب زهکشی در محاسبه قطر لوله‌های زهکشی بود. در مناطق مرطوب غربی کشور ایالات متحده آمریکا، ضریب زهکشی تحت عنوان شدت تخلیه مورد انتظار از واحد سطح برای محاسبه قطر لوله‌های زهکشی زیرزمینی تعیین می‌شد. در این مناطق، استفاده از شدت تخلیه به مقدار $0/7$ لیتر بر ثانیه بر هکتار برای زمین‌های ۱۶ هکتار و کم‌تر از آن، متداول بود [۳۳]. ضریب زهکشی به عنوان یک معیار مهم طراحی سامانه زهکشی زیرزمینی، به نحوی تعیین می‌شود که ضمن کنترل هم‌زمان سطح ایستابی و میزان شوری در نیمرخ خاک، از لحاظ فنی قابل اجرا و از لحاظ اقتصادی قابل قبول باشد. بهترین روش تعیین ضریب زهکشی زیرزمینی، استفاده از مزارع آزمایشی و اجرای طرح‌های نمونه و یا اندازه‌گیری زه آب خروجی سامانه‌های زهکشی در مناطق مشابه و برای کشت مشابه است. در شرایطی که مزارع آزمایشی و اطلاعات واقعی در دسترس نباشد، ضریب زهکشی برآورد می‌شود. طراحان با اندازه‌گیری یا برآورد نفوذ عمقی آب آبیاری و بارندگی، نشت آب از آبراهه‌ها و نهرچه‌های انتقال، توزیع و سایر عوامل تغذیه آب زیرزمینی در مزرعه و براساس معیارهای طراحی، شدت زهکشی طرح^۱ یا بده ویژه طرح زهکشی را تعیین می‌کنند. گرچه عوامل متعددی در برآورد ضریب زهکشی طرح تاثیر دارند، ولی گستردگی طرح‌های زهکشی در سراسر جهان، امکان بهره‌گیری از نتایج طرح‌ها پس از ارزیابی و تعدیل برای شرایط محلی را فراهم می‌آورد.

به طور معمول، ضریب زهکشی زیرزمینی برحسب حجم بر واحد سطح در طی مدت ۲۴ ساعت (یک روز) یا به طور ساده برحسب "واحد طول بر واحد زمان" بیان می‌شود و مشابه واحد هدایت هیدرولیک و شدت بارندگی است. بنابراین ضریب زهکشی زیرزمینی برحسب واحدهای میلی‌متر، سانتی‌متر یا متر بر روز بیان می‌شود.

سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی^۲ (۱۹۸۰) برای زمین‌های تحت آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک در حالتی که شرایط زهکشی طبیعی خاک و جریان آب زیرزمینی از مناطق بالادست ناچیز باشد، پیشنهاد کرده است که ضریب زهکشی به صورت زیر در نظر گرفته شود [۲۰]:

در خاک‌هایی با نفوذپذیری ناچیز، کم‌تر از $1/5$ میلی‌متر بر روز،
در اکثر خاک‌ها، $1/5$ تا $3/0$ میلی‌متر بر روز (رقم بزرگ‌تر برای خاک‌های با نفوذپذیری و تراکم کشت بیش‌تر)،
در شرایط خاص یعنی کشت متراکم، اعمال مدیریت شوری و یا آبیاری با بازده پایین، $3/0$ تا $4/5$ میلی‌متر بر روز، و
در شرایط ویژه نظیر آبیاری برنج در خاک‌های سبک، بیش‌تر از $4/5$ میلی‌متر بر روز.
برخی مقادیر برآورد شده ضریب زهکشی در شرایط مختلف، در جداول ۱-۲ و ۲-۲ ارایه شده است.

1- Design Drainage Rate

2- Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations

جدول ۲-۱- ضریب زهکشی برآورد شده در مناطق مختلف جهان

مرجع	ضریب زهکشی (میلی متر بر روز)	گ-پاه	منطقه
[۲۳]	۱/۷۲	زراعت تابستانه	مصر- دلتای رودخانه نیل
	۰/۸۲	زراعت زمستانه	
	۲/۲۰	ذرت (گیاه شاخص برای طراحی)	
[۲۷]	۱/۳۰	شیدر، گندم، پنبه، ذرت و لوبیا	پرو- اراضی حاشیه رودخانه
	۴/۰	برنج	
[۲۶]	سال اول ۴/۲۰	نیشکر	استرالیا
	سال دوم ۱/۵۰		
[۱۷]	۱/۰۰	تاکستان	عراق
[۱۸]	۵/۰۰	گیاهان مختلف زراعی در خاک‌های لومی	
	۲/۵۰	گیاهان مختلف زراعی در خاک‌های رسی	
[۲۶]	۲/۶۰-۲/۸۰	گندم، سیب زمینی و ذرت	ترکیه- دشت هاران ^۱
[۲۵]	۲/۷۶	گندم، جو، پنبه، ذرت، درختان میوه، کنگد، سبزی‌ها، صیفی و پنبه (کشت دوم)	پاکستان
[۱]	۲/۵۰-۳/۵۰	گیاهان مختلف زراعی	
	۰/۹۵		طرح‌های MTD II (سال ۱۹۹۴)
[۲۶]	۳/۱۱	گیاهان مختلف زراعی	اتیوپی- دره میدل آواش ^۲

جدول ۲-۲- ضریب زهکشی برآورد شده در مناطق مختلف کشور

مرجع	ضریب زهکشی (میلی متر بر روز)	منطقه	منطقه
[۱]	۲/۵۰*	یونجه و ذرت (گیاهان شاخص برای طراحی)	دشت بهبهان- خوزستان
[۱۴]	۲/۲۰	برنج	ساری- مازندران
[۱]	۲/۰۰	ذرت (گیاه شاخص برای طراحی)	دشت مغان- اردبیل
[۱۳]	۳/۸۲	گندم (جو)، سبزی و صیفی، شیدر، ذرت علوفه‌ای، حبوبات و گوجه فرنگی	دشت هندیجان- خوزستان
[۱]	۵/۰۰-۶/۰۰	نیشکر	طرح توسعه نیشکر- خوزستان
	۲/۵۰	یونجه، ذرت	
[۱۲]	۳/۷۵	پیاز (گیاه شاخص برای طراحی)	دشت بناب- آذربایجان شرقی

* با احتساب زهکشی طبیعی به میزان ۱/۵ میلی متر بر روز

۲-۲- موارد و ملاحظه‌های مربوط به محاسبه ضریب زهکشی زیرزمینی

معیار زراعی - هیدرولوژیک^۱ برای طراحی یک سامانه زهکشی زیرزمینی، مقدار آب نفوذ یافته است که در یک مدت زمان معین باید از محدوده توسعه ریشه گیاه خارج شده و سطح ایستابی در عمق مورد نظر تثبیت شود [۲۶]. در این مناطق، سطح ایستابی متناسب با زمان و مقدار تغذیه یا تخلیه آب زیرزمینی، نوسان می‌کند. بهترین روش تعیین میزان تخلیه مورد نیاز در طراحی زهکش‌ها، بررسی خیز سطح ایستابی^۲ در مزرعه می‌باشد. اگر چه برای برآورد ضریب زهکشی روش‌های مختلفی وجود دارد، ولی اندازه‌گیری مقدار تخلیه از مزارع مشابه در حال زهکشی بهترین راهنما برای برآورد آن می‌باشد.

شدت تخلیه در طرح‌های زهکشی زیرزمینی برای جریان ماندگار و غیرماندگار تعیین می‌شود. در حالت ماندگار فرض بر این است که جریان آبی که از درون نیمرخ خاک عبور می‌کند، مقدار ثابتی بوده و مقدار تغذیه مساوی مقدار تخلیه است. در این حالت سطح ایستابی با گذشت زمان تغییر نمی‌کند. در جریان غیرماندگار کلیه عوامل نسبت به زمان متغیر بوده و شدت تخلیه بر مبنای شدت تغذیه آب زیرزمینی در فاصله آبیاری یا بارندگی و خیز سطح ایستابی ناشی از آن مطرح است. در جریان غیرماندگار شدت تخلیه مورد نیاز باید با بررسی اثر هر نوع تغذیه بر نوسان سطح ایستابی در فصل آبیاری و اندازه‌گیری عمق سطح ایستابی در ابتدا و انتهای این فصل و همچنین بررسی تغییرات سطح ایستابی در فصل آیش و در دوره‌های طولانی‌تر چند ساله تعیین شود.

شدت تخلیه در جریان ماندگار یا ضریب زهکشی به عوامل زیادی از جمله: بافت و ساختمان خاک، نوع کشت، محدوده توسعه ریشه گیاهان، میزان آبیاری، فاصله آبیاری، شیب مزرعه، عمق زهکش، عمق لایه محدودکننده^۳، شوری آب و خاک، نشت آب زیرزمینی از بالادست، نشت از آبراهه‌ها و نهرچه‌ها بستگی دارد. بسیاری از این عوامل به مدیریت آبیاری و برخی از آنها به موقعیت زهکش وابسته است.

۲-۳- منشا و میزان نفوذ عمقی و شدت تخلیه آب در زمین‌های تحت آبیاری

در مناطق خشک و نیمه خشک که بارندگی در اغلب ماه‌های فصل زراعی اندک بوده و کشاورزی به آبیاری وابسته است، منشا اصلی تغذیه سفره آب زیرزمینی کم عمق (سفره اول یا سطحی) و بالا آمدن سطح ایستابی در زمین‌های تحت آبیاری، نشت آب در فرآیند انتقال، توزیع و نفوذ عمقی کاربرد آب آبیاری و آبشویی به ناحیه زیرین محدوده توسعه ریشه گیاهان و جریان آب زیرزمینی کم عمق از مناطق بالادست است. در برخی شرایط، جریان به سمت بالا (تحت فشار موینه‌ای^۴ و فشار هیدرواستاتیک یا آرتزین^۵) منشا تغذیه سفره آب زیرزمینی و موجب بالا آمدن سطح ایستابی می‌باشد. بنابراین در صورت کافی نبودن توانمندی زهکشی طبیعی خاک، خیز سطح ایستابی در محدوده توسعه ریشه گیاهان حتمی است. در این مناطق در فصل زراعی، بارندگی به‌ندرت موجب تغذیه آب زیرزمینی می‌شود.

در زمین‌های فاریاب، ضریب زهکشی یا بده زهکش‌های زیرزمینی با استفاده از معادله بیلان آب به صورت رابطه (۲-۱) تعیین

1- Agro-Hydrological

2- Water Table Buildup

3- Barrier

4- Capillary Pressure

5- Hydrostatic or Artesian Pressure

می شود [۲۹]:

$$q = \frac{R + S_c + S_i + S_v - D_m}{t} \quad (۱-۲)$$

که در آن:

q = ضریب زهکشی زیرزمینی یا بده ویژه طرح (میلی متر بر روز)،

R = نفوذ عمقی برآورد شده حاصل از آبیاری، آبشویی و بارندگی به ناحیه زیرین محدوده توسعه ریشه گیاه (میلی متر)،

S_c = نشت از آبراهه‌ها و نهرچه‌ها (میلی متر)،

S_i = نفوذ جریان جانبی به داخل منطقه (میلی متر)،

S_v = نفوذ جریان عمودی به داخل منطقه (میلی متر)،

D_m = زهکشی طبیعی آب زیرزمینی (میلی متر)، و

t = طول دوره اندازه‌گیری یا محاسبه شده (روز)، می‌باشد.

تمامی عوامل ظاهر شده در صورت کسر رابطه (۱-۲)، در طول یک دوره زمانی (t) تعیین می‌شوند.

در طرح زهکشی که کنترل شوری نیز مورد نظر می‌باشد، نیاز آبشویی^۱ تعیین می‌شود. چنانچه مقدار نیاز آبشویی بیش‌تر از R باشد، برای اطمینان از آبشویی نمک‌های محلول خاک محدوده توسعه ریشه گیاهان، مقدار R باید بر پایه آن تعدیل (افزایش) یابد (برای اطلاعات بیش‌تر به بخش ۲-۳-۴-۴ و مثال پیوست مراجعه شود).

مثال- در یک طرح زهکشی، در فاصله ۱۰ روز بین دو آبیاری (دوره بحرانی)، نفوذ عمقی حاصل از آبیاری ۲۲/۵ میلی‌متر می‌باشد. در این فاصله زمانی، نشت از آبراهه‌ها و نهرچه‌های آبیاری^۳، نفوذ جریان جانبی به داخل منطقه ۴ و زهکشی طبیعی ۵ میلی‌متر است. نتایج مطالعات ژئوهیدرولوژیکی وجود جریان عمودی به سمت بالا تحت فشار مویینه‌ای و آرتزین به داخل منطقه را نشان نمی‌دهد. بارندگی در طول این دوره ناچیز می‌باشد. ضریب زهکشی زیرزمینی طرح را تعیین کنید.

ضریب زهکشی زیرزمینی یا بده ویژه طرح زهکشی با استفاده از رابطه (۱-۲) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$q = \frac{22.5 + 3.0 + 4.0 + 0.0 - 5.0}{10} = 2.45 \quad \text{میلی متر بر روز}$$

در زمین‌های تحت آبیاری که تجارب محلی برای تعیین ضریب زهکشی واقعی کافی نمی‌باشد، در حالتی که در فصل زراعی، آب زیرزمینی به وسیله آبیاری زمین‌های کشاورزی تغذیه شود و نفوذ عمقی بارندگی، نشت آب زیرزمینی کم عمق از بالادست به محدوده طرح، جریان به سمت بالا تحت فشار مویینه‌ای و یا آرتزین و توانمندی زهکشی طبیعی خاک‌ها نیز ناچیز باشد، سازمان حفاظت خاک وزارت کشاورزی کشور ایالات متحده آمریکا^۲ رابطه زیر را برای محاسبه ضریب زهکشی پیشنهاد کرده است [۳۰]:

$$q = \frac{\left(\frac{P+C}{100}\right) i}{F} \quad (۲-۲)$$

1- Leaching Requirement (LR)

2- United States Department of Agriculture- Soil Conservation Service (USDA-SCS)

این سازمان در حال حاضر، سازمان حفاظت منابع طبیعی (Natural Resource Conservation Service (NRCS)) نامیده می‌شود.

که در آن:

q = ضریب زهکشی (میلی متر بر روز)،

P = نفوذ عمقی حاصل از عملیات آبیاری و آبشویی (درصد از آب آبیاری کاربردی)،

C = نشت آب از آبراهه‌های مزرعه‌ای (درصد)،

i = عمق ناخالص آب آبیاری (میلی متر)، و

F = فاصله آبیاری (روز)، می‌باشد.

مثال- در شرایطی که نفوذ عمقی آب آبیاری ۲۰ درصد و نشت از آبراهه‌ها ۸ درصد آب کاربردی باشد و آبیاری با فاصله ۱۴ روز و به عمق ۱۵ سانتی‌متر انجام شود، ضریب زهکشی با استفاده از رابطه (۲-۲) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$q = \frac{(\frac{20+8}{100}) \times 150}{14} = 3 \quad \text{میلی متر بر روز}$$

رابطه (۲-۲) در شرایطی کاربرد دارد که نفوذ عمقی حاصل از عملیات آبیاری و نشت آب از آبراهه‌های مزرعه‌ای منشا تغذیه آب زیرزمینی باشد.

۲-۳-۱- برآورد میزان نفوذ عمقی بارندگی در زمین‌های مسطح

در مناطق خشک و نیمه خشک، میزان نفوذ عمقی بارندگی به ناحیه زیرین محدوده توسعه ریشه گیاه، به ویژه در فصل زراعی، ناچیز می‌باشد. ولی در صورت لزوم، نفوذ عمقی حاصل از بارندگی بر پایه تعادل اجزای ورودی و خروجی به صورت رابطه (۳-۲) محاسبه می‌شود [۲۴]:

$$D_{Pr} = P - P_e - RO_r \quad (3-2)$$

که در آن:

D_{Pr} = نفوذ عمقی بارندگی (میلی متر)،

P = بارندگی کل (میلی متر)،

P_e = بارندگی موثر^۱ (میلی متر)، و

RO_r = رواناب سطحی^۲ حاصل از بارندگی (میلی متر)، می‌باشد.

در رابطه (۳-۲)، میزان تبخیر سطحی بارندگی ناچیز فرض شده است.

مثال- فرض می‌شود که از یک مورد بارندگی ۵۰ میلی‌متری ۱۰ درصد به صورت رواناب جاری شده و ۸۰ درصد از مقدار نفوذ یافته، بارندگی موثر است. نفوذ عمقی حاصل از این بارندگی را محاسبه کنید. تلفات بارندگی به صورت تبخیر سطحی ناچیز فرض می‌شود.

$$RO_r = 50 \times \frac{10}{100} = 5 \quad \text{میلی متر رواناب}$$

1- Effective Rainfall

2- Surface Runoff

$$50 - 5 = 45$$

میلی متر بارندگی نفوذ یافته

$$P_e = 45 \times \frac{80}{100} = 36$$

میلی متر بارندگی موثر

$$D_{pr} = 50 - 36 - 5 = 9$$

میلی متر نفوذ عمقی

روش های اندازه گیری بارندگی موثر در نشریه فنی شماره ۲۵ آبیاری و زهکشی سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی (۱۹۷۴)^۱ و چهار روش برآورد آن در نرم افزار CROPWAT ارائه شده است. برای آگاهی تفصیلی در مورد روش های برآورد رواناب سطحی به نشریه شماره ۲۸۳-الف، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور مراجعه شود [۳].

۲-۳-۲- تعیین میزان نشت آب آبیاری در فرآیندهای انتقال و توزیع در مزرعه

مقدار نشت در فرآیندهای انتقال و توزیع آب در مزرعه به عوامل متعدد از جمله روش انتقال و توزیع، زمین های تحت آبیاری هم زمان، نوع پوشش، هدایت هیدرولیک، شیب هیدرولیکی بین آبراهه و زمین های مجاور، عمق آب، سرعت جریان، مدت زمان تداوم جریان، بار رسوب، محیط خیس شده، فاصله از لایه غیرقابل نفوذ و سطح ایستایی بستگی دارد. اگر انتقال و توزیع آب در آبراهه های خاکی با بافت سبک صورت پذیرد و یا یک لایه غیرقابل نفوذ عمیق (در عمق بیش تر از ۵ متر) وجود داشته باشد، نشت از آبراهه ها و نهرچه ها می تواند قابل ملاحظه باشد.

نشت آب از آبراهه های انتقال و توزیع را به صورت های زیر بیان می کنند [۲۲]:

- حجم آب نفوذ یافته بر واحد سطح در هر ۲۴ ساعت (مترمکعب بر مترمربع بر روز)،
- حجم آب نفوذ یافته بر واحد طول آبراهه در هر ۲۴ ساعت (مترمکعب بر متر بر روز)،
- درصدی از کل (بده) جریان آب در یک کیلومتر طول آبراهه و
- درصدی از کل حجم یا عمق آب آبیاری.

بهترین روش تعیین مقدار نشت از آبراهه ها، اندازه گیری در شرایط واقعی است. اگر آبراهه های انتقال و توزیع در مزرعه در حال بهره برداری بوده یا امکان تهیه مدل های نمونه فراهم باشد، مقدار نشت را می توان اندازه گیری کرد. چهار روش برای اندازه گیری نشت آب از آبراهه ها پیشنهاد شده که هر کدام دارای مزایا و معایبی است و هیچ یک برتری مطلق ندارد:

الف- آزمون حوضچه ای^۲

در این روش یک بازه از طول آبراهه توسط مانع مناسب مسدود و آب در آن معادل عمق آبیاری نگهداری شده و سپس میزان کاهش عمق آب در طول زمان اندازه گیری می شود. حجم نشت از محیط خیس شده آبراهه در واحد زمان محاسبه شده و میزان نشت در کل طول آبراهه ها برحسب مترمکعب بر مترمربع بر روز تعیین می شود.

۱- این نشریه توسط دکتر اسماعیل مالک با عنوان "باران موثر در زراعت آبی" ترجمه و به وسیله نشر دانشگاهی (۱۳۶۲) انتشار یافته است [۱۰].

ب- روش جریان ورودی- خروجی^۱

در این روش میزان جریان ورودی و خروجی در ابتدا و انتهای یک بازه معین در طول آبراهه اندازه‌گیری می‌شود. تفاوت مقدار جریان ورودی و خروجی از این بازه معین، مساوی با مقدار نشت آب در آن است.

ج- روش نشت‌سنج^۲

انتهای باز یک استوانه فلزی در کف آبراهه کوبیده و انتهای دیگر آن به یک منبع آب متصل شده و معادل عمق جریان در آبراهه، آب وارد استوانه می‌شود. مقدار نشت در کف استوانه مساوی آب کاربردی برای ثابت نگهداشتن ارتفاع آب در استوانه است. براساس محیط خیس شده، مقدار نشت از آبراهه محاسبه می‌شود. این روش ساده و کم هزینه بوده و در آبراهه دارای جریان، نیز قابل اجرا است. همچنین برای آبراهه‌های خاکی، این روش مناسب می‌باشد.

د- روش شبیه‌سازی هیدرولیکی^۳

این روش در مراحل قبل و پس از ساخت آبراهه قابل استفاده می‌باشد. میزان دقت آن به دقت بودن اندازه‌گیری و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک دیواره و بستر آبراهه بستگی دارد. از این ویژگی‌ها می‌توان برای برآورد نشت از آبراهه در منطقه اشباع و غیر اشباع خاک استفاده کرد، از مزایای مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی آن است که نشت از آبراهه قبل از ساخته شدن آن قابل ارزیابی بوده و هم چنین، تغییر میزان نشت آب در دراز مدت^۴ قابل بررسی است.

نشت از آبراهه‌ها با استفاده از روابط تجربی و راه‌حل‌هایی که از روش‌های تحلیلی مشتق شده‌اند، قابل محاسبه است. برخی روابط شناخته شده برای محاسبه میزان نشت از آبراهه‌ها در نشریه فنی شماره ۲ آبیاری و زهکشی سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی (۱۹۷۷) با تجدیدنظر) بیان شده است [۲۲].

بر پایه جمع‌بندی داده‌ها توسط مراجع معتبر در مناطق مختلف جهان، جدول‌ها و نمودارهایی برای برآورد مقدار نشت آب در فرآیندهای انتقال و توزیع ارایه شده است. این ارقام که برای مدیریت مطلوب طراحی و بهره‌برداری پیشنهاد شده‌اند، جنبه راهنما دارند و در شرایطی که ارقام واقعی در دسترس نباشند، از این اطلاعات به عنوان تقریب اولیه می‌توان استفاده کرد، مانند جدول ۲-۳. بدیهی است که نشت اضافی ناشی از نگهداری نامطلوب آبراهه‌ها که نشت غیرمنطقی تلقی می‌گردد، بیش‌تر از مقادیر گفته شده خواهد بود.

۲-۳-۳- تعیین میزان نفوذ عمقی کاربرد آبیاری در مزرعه

همواره بخشی از آب آبیاری در فرآیند کاربرد در مزرعه به صورت رواناب، تبخیر سطحی، نفوذ عمقی (فرونشت) به ناحیه زیرین ریشه گیاه، بادبرد^۵ و تبخیر قطره‌های آب در هوا (در روش‌های آبیاری بارانی) تلف می‌شود. بازده کاربرد آبیاری^۶ به صورت نسبت

1- Inflow-Outflow Method

2- Seepage Meter Method

3 - Hydraulic Simulation Method

4 - Long Term

5 - Wind Drift

6 - Irrigation Application Efficiency (E_a)

میانگین عمق آب ذخیره شده در محدوده توسعه ریشه گیاه به میانگین عمق آب آبیاری تحویل شده به قطعه زراعی^۱ تعریف و برحسب درصد بیان می‌شود. مشروح روش‌های تعیین بازده کاربرد آبیاری به روش‌های مختلف در مراجع مربوط به طراحی و ارزیابی روش‌های آبیاری و به عنوان مثال در منابع شماره [۲۱] و [۲۴] بیان شده است.

روش‌هایی برای توصیف رابطه بازده کاربرد آبیاری و نفوذ عمقی آب در فرآیند آبیاری در مزرعه ارائه شده است. در یک روش بر پایه تعادل اجزای ورودی و خروجی آب به خاک محدوده توسعه ریشه گیاه، از رابطه (۲-۴) برای برآورد مقدار نفوذ عمقی از روی بازده کاربرد آبیاری استفاده می‌شود [۳۲]:

$$R = I \left(1 - \frac{E_a}{100} \right) - (E + RO) \quad (۲-۴)$$

که در آن:

R = نفوذ عمقی (میلی‌متر)،

I = عمق ناخالص آب آبیاری کاربردی در مزرعه (میلی‌متر)،

E_a = بازده کاربرد آبیاری (درصد)،

E = تبخیر - تفرق در طول مدت زمان آبیاری (میلی‌متر)، و

RO = مقدار رواناب سطحی (میلی‌متر)، می‌باشد.

مثال - در یک مزرعه، عمق ناخالص آبیاری ۸۰ میلی‌متر، بازده کاربرد آبیاری ۷۵ درصد، تبخیر از سطح خاک در طول مدت آبیاری ۴ میلی‌متر و مقدار رواناب سطحی حاصل از آبیاری صفر می‌باشد. نفوذ عمقی آب آبیاری با استفاده از رابطه (۲-۴) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = 80 (1 - 0.75) - (4 + 0) = 20 - 4 = 16.0 \quad \text{میلی‌متر}$$

مقدار نفوذ عمقی کاربرد آبیاری هنگامی که ارقام واقعی در دسترس نباشند، با استفاده از نتایج موجود در محدوده طرح زهکشی یا مناطق مشابه، برحسب درصدی از آب آبیاری کاربردی برآورد می‌شود.

در جدول ۲-۴ برخی مقادیر تجربی بازده کاربرد آبیاری در مزرعه به روش‌های متفاوت آبیاری و نفوذ عمقی حاصل از آن بر پایه بافت خاک برای طرح‌های آبیاری با مدیریت مطلوب ارائه شده است. همچنین، مقادیر تجربی بازده کاربرد آبیاری، نفوذ عمقی، بادبرد و تبخیر قطره‌های آب در روش آبیاری بارانی در جدول ۲-۵ ارائه شده است.

ارقام ارائه شده در جداول این نشریه به عنوان تقریب اولیه قابل استفاده می‌باشند و جنبه راهنما دارند. در شرایط طراحی یا مدیریت نامناسب، بازده کاربرد آبیاری در مزرعه کاهش و مقدار نفوذ عمقی حاصل از آن افزایش می‌یابد.

بر پایه ارزیابی داده‌های جمع‌آوری شده از مزارع تحت آبیاری واقع در کالیفرنیا (ایالات متحده آمریکا) توسط تانجی و هنسون^۲ (۱۹۹۰)، دامنه تغییر مقدار یکنواختی توزیع و نفوذ عمقی برای روش‌های مختلف آبیاری به صورت جدول ۲-۶ ارائه شده است [۲۹]. داده‌های این جدول برای انواع خاک‌ها و روش‌های آبیاری است که خوب طراحی شده و به درستی بهره‌برداری می‌شوند. در این جدول، یکنواختی توزیع به صورت نسبت میانگین آب ذخیره شده در محدوده توسعه ریشه گیاه به میانگین آب مصرف شده

۱- Field Block قسمتی از اراضی که توسط آبراهه‌های درجه چهار به وسیله آبیاری می‌شود و مساحت آن بین ۶ تا ۱۲ هکتار است.

۲- Tanji & Hanson

تعیین شده است.

جدول ۲-۳- نشست از انواع آبراهه‌ها [۲۹]

میزان نشست (درصد از جریان)	انواع آبراهه مزرعه‌ای
۲۰-۳۰	آبراهه پوشش نشده
۱۵-۲۰	آبراهه پوشش شده
۱۵-۲۰	آبراهه بزرگ فرعی پوشش نشده
۱۲-۱۵	آبراهه بزرگ فرعی پوشش شده و آبراهه کوچک پوشش نشده
۱۰	آبراهه کوچک فرعی پوشش شده
۰	خطوط لوله

* به طور معمول میزان نشست که می‌تواند به صورت درصد از جریان در طول معین نوشته شود، به ویژه در مورد آبراهه‌های پوشش شده مقادیر کم تری از آنچه که در این جدول آمده است دارا هستند

نتایج این مطالعات نشان داد که: در مزارع با طراحی و مدیریت آبیاری و زراعی مطلوب، مقدار نفوذ عمقی آب در واحد سطح با افزایش مساحت زمین‌های تحت آبیاری هم‌زمان، به دلیل افزایش بده جریان آبیاری، کاهش می‌یافت. آبیاری سطحی و قطره‌ای در خاک‌های سنگین به دلیل نفوذپذیری پایین، بازده کاربرد مشابهی داشتند.

نتایج داده‌های به‌دست آمده از ارزیابی ۱۰۰۰ سامانه آبیاری در زمین‌های تحت پوشش طرح زهکشی دره سن‌یواکین^۱ نیز در جدول ۲-۶ ارایه شده است. کم‌تر بودن مقادیر بازده کاربرد در این مزارع در مقایسه با داده‌های به‌دست آمده توسط تانجی و هنسون (۱۹۹۰)، به طور احتمال، مدیریت ضعیف و طراحی غیر بهینه را در این سامانه‌های آبیاری نشان می‌دهد.

در بررسی‌های گفته شده نفوذ عمقی بر پایه این فرض‌ها برآورد شده است: در سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای، پس از آبیاری روانابی اتفاق نمی‌افتد. مقدار تبخیر در آبیاری بارانی در روز تا ۱۰ درصد و در شب تا ۵ درصد آب کاربردی می‌باشد. مقدار تبخیر در آبیاری سطحی ناچیز فرض گردید. در روش‌های آبیاری نهرچه‌ای (جوی و پشته)^۲ و نواری (با انتهای باز)، رواناب انتهایی (پایاب)^۳ تا ۱۰ درصد و تبخیر تا ۵ درصد آب آبیاری کاربردی متغیر است. همچنین در روش آبیاری کرتی، رواناب انتهایی صفر و مقدار تبخیر تا ۵ درصد آب آبیاری کاربردی می‌باشد. بنابراین مقدار نفوذ عمقی منطقی بر مبنای روش و مدیریت آبیاری متغیر است [۲۹]. هر چند ارقام ارایه شده در این جدول‌ها نتایج داده‌های به‌دست آمده از ارزیابی کارشناسان از شرایط واقعی می‌باشند ولی دقت برآورد مقدار نفوذ عمقی بر مبنای این ارقام به تشابه شرایط بستگی دارد. بنابراین این ارقام جنبه راهنما دارند و به عنوان تقریب اولیه در طراحی قابل استفاده می‌باشند.

1 - San Joaquin Valley Drainage Implementation Program (SJVDIP)

2-Furrow Irrigation

3-Tail Water

جدول ۲-۴- برآورد نفوذ عمقی منطقی آب در روش‌های آبیاری [۲۰]

نفوذ عمقی (درصد از آب کاربردی)		بازده کاربرد (درصد)		شرایط کارکرد	روش آبیاری
خاک سبک	خاک سنگین	خاک سبک	خاک سنگین		
۳۰	۳۰	۶۰	۶۰	آبیاری روزانه، باد نسبتاً شدید	بارانی
۲۵	۲۵	۷۰	۷۰	آبیاری شبانه	
۱۵	۱۵	۸۰	۸۰	-	قطره‌ای
۴۰	۳۰	۴۵	۶۰	با تسطیح و آرایش نامناسب	غرقابی
۳۰	۲۰	۶۰	۷۵	با تسطیح و آرایش مناسب	
۴۰	۳۰	۴۰	۵۵	با تسطیح و اندازه نامناسب	نهرچه‌ای و نواری
۳۵	۲۵	۵۰	۶۵	با تسطیح و اندازه مناسب	

جدول ۲-۵- بازده کاربرد آبیاری، نفوذ عمقی، بادبرد و تبخیر در سامانه‌های آبیاری بارانی [۹]

نوع سامانه آبیاری	بازده کاربرد در مناطق خشک-مرطوب (درصد)*	نفوذ عمقی (درصد)	بادبردگی و تبخیر در مناطق خشک-مرطوب (درصد)
متحرک دستی و آبفشان غلطان (با آب‌پاش‌های جابجا شونده) ^۱	۷۰-۷۵	۱۸	۸-۱۵
ثابت (طراحی برای باد کم)	۵۵-۶۰	۳۰	۱۵-۲۲
ثابت (طراحی برای باد زیاد)	۶۴-۷۰	۱۸	۱۵-۲۲
آبفشان دوار و آبفشان خطی ^۱	۷۴-۸۱	۱۰	۱۰-۱۸
آبپاش بزرگ با بده زیاد ^۱ (طراحی برای باد کم)	۷۸-۸۰	۱۸	۳-۵

* اعداد کم‌تر برای مناطق خشک استفاده می‌شود.

جدول ۲-۶- برآورد نفوذ عمقی آب در روش‌های آبیاری با توجه به بازده کاربرد [۲۹]

برآورد نفوذ عمقی (درصد از آب آبیاری)	بازده کاربرد آبیاری (درصد)		یکنواختی توزیع (درصد)	روش آبیاری
	طرح زهکشی دره سن‌یوآکین در ایالات متحده آمریکا (۱۹۹۹)	تانجی و هنسون (۱۹۹۰)		
۱۵-۲۵	۷۰-۸۰	۶۵-۸۰	۷۰-۸۰	بارانی - متحرک دوره‌ای ^۴
۱۰-۱۵	۸۰-۹۰	۷۵-۸۵	۷۰-۹۰	- متحرک دائم ^۵
۵-۱۰	۷۰-۸۰	۸۵-۹۰	۹۰-۹۵	- ثابت ^۶
۵-۲۰	۸۰-۹۰	۷۵-۹۰	۸۰-۹۰	قطره‌ای
۲۵-۵۰	۷۰-۸۵	۶۰-۹۰	۸۰-۹۰	سطحی - نهرچه‌ای
۱۰-۲۰	۷۰-۸۵	۶۵-۸۰	۷۰-۸۵	- نواری
۵-۲۰		۷۵-۹۰	۹۰-۹۵	- کرتی

- 1- Hand Move and Side Roll (with offset)
- 2- Center Pivot and Linear- Moving Lateral
- 3- Big Gun
- 4- Periodic Move
- 5- Continuous Move
- 6- Solid Set

۲-۳-۴- عوامل موثر بر ایجاد نفوذ عمقی در زمین‌های تحت آبیاری و میزان تاثیر آنها

۲-۳-۴-۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک

الف- بافت خاک

میزان نسبی ذرات با اندازه‌های مختلف (شن، سیلت و رس) در یک نمونه خاک، بافت خاک گفته می‌شود. بافت مهم‌ترین مشخصه فیزیکی خاک است که بر ویژگی‌های هیدرولیکی آن موثر می‌باشد. به طور کلی، در خاک‌های درشت بافت، هدایت هیدرولیک بیش‌تر و ظرفیت نگهداری آب کم‌تر است. ارقام برآورد شده معمول نفوذ عمقی با توجه به بافت خاک در جدول ۲-۷ ارایه شده است.

ب- ظرفیت نگهداری آب^۱

ظرفیت نگهداری آب مقدار رطوبت خاک بین دو حد ظرفیت زراعی^۲ و نقطه پژمردگی دائم^۳ می‌باشد. آب آبیاری یا بارندگی، رطوبت خاک محدوده توسعه ریشه گیاه را تا ظرفیت مزرعه افزایش می‌دهد و افزون بر آن، به صورت نفوذ عمقی تلف می‌شود. ظرفیت نگهداری آب در خاک، به طور عمده، به بافت خاک و میزان مواد آلی خاک بستگی دارد. مقدار نفوذ عمقی آب آبیاری و بارندگی با استفاده از رابطه بیلان آب خاک محدوده توسعه ریشه گیاه و بر پایه کمبود رطوبت خاک در زمان آبیاری، به صورت رابطه (۲-۵) محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$DP = (P - RO) + I_n - ET_c - \Delta w \geq 0 \quad (2-5)$$

که در آن:

$DP =$ نفوذ عمقی آب آبیاری و بارندگی به ناحیه زیرین محدوده توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر)،

$P =$ بارندگی کل (میلی‌متر)،

$RO =$ رواناب سطحی (میلی‌متر)،

$I_n =$ عمق خالص آب آبیاری (میلی‌متر)،

$ET_c =$ تبخیر- تعرق^۴ گیاه (میلی‌متر)، و

$\Delta w =$ کمبود رطوبت خاک محدوده توسعه ریشه گیاهان در زمان آبیاری (میلی‌متر)، می‌باشد.

عبارت $(P-RO)$ در رابطه (۲-۵)، میزان بارندگی نفوذ یافته به نیمرخ خاک می‌باشد. در این رابطه مقدار صعود مویینه‌ای، نشت آب زیرزمینی و رواناب سطحی از مناطق بالادست ناچیز فرض شده است. به طور معمول، هنگامی که محدوده توسعه ریشه گیاه بیش‌تر از یک متر بالاتر از سطح ایستابی واقع باشد، صعود مویینه‌ای آب به محدوده توسعه ریشه گیاه صفر فرض می‌شود^۵.

1- Water Holding Capacity

2- Field Capacity (FC)

3- Permanent Wilting Point (PWP)

4- Evapotranspiration

۵- برای آگاهی بیش‌تر در مورد نحوه محاسبه صعود مویینه‌ای آب در خاک به نشریه فنی شماره ۶۱ آبیاری و زهکشی سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی مراجعه شود. این نشریه با عنوان "مدیریت زه‌آب کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک"، توسط مهندس مجتبی اکرم و همکاران ترجمه و به وسیله کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (۱۳۸۶) انتشار یافته است.

مقدار Δw ، کمبود رطوبت خاک در زمان آبیاری از رطوبت ظرفیت زراعی می‌باشد.

مثال - اگر میزان تبخیر- تعرق گیاه ۷ میلی‌متر بر روز، میزان خالص آب آبیاری ۸۴ میلی‌متر، میزان بارندگی ۲۰ میلی‌متر، رواناب سطحی ۲۰ درصد بارندگی و آب ذخیره شده در عمق توسعه ریشه گیاه ۷۵ میلی‌متر باشد، نفوذ عمقی آب در پایان روز دوم پس از آبیاری که رطوبت خاک محدوده ریشه گیاه در حد ظرفیت زراعی است، با استفاده از رابطه (۲-۵) به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$RO = 20 \times \frac{20}{100} = 4.0 \quad \text{میلی‌متر رواناب}$$

$$DP = (20 - 4) + 84 - 7 \times 2 - 75 = 11.0 \quad \text{میلی‌متر نفوذ عمقی}$$

برای کاربرد در رابطه (۲-۵)، عمق خالص آب آبیاری در هر نوبت بر پایه بیلان آب در خاک و کمبود رطوبت در زمان آبیاری به صورت رابطه (۲-۶) محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$I_n = 1000 (\theta_{FC} - \theta_i) Z_r \quad (۲-۶)$$

که در آن:

θ_{FC} = مقدار رطوبت حجمی خاک محدوده توسعه ریشه گیاه در ظرفیت زراعی (مترمکعب آب بر مترمکعب خاک)،

θ_i = مقدار رطوبت حجمی خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه، قبل از آبیاری (مترمکعب آب بر مترمکعب خاک)، و

Z_r = عمق (محدوده) توسعه ریشه گیاه (متر)، می‌باشد.

مثال - در یک خاک با بافت لوم رسی، رطوبت حجمی در حد ظرفیت زراعی ۰/۳۲ و در هنگام پیش از آبیاری ۰/۲۲ مترمکعب بر مترمکعب است. چنانچه عمق ریشه گیاه یک متر باشد، عمق خالص آبیاری برابر $I_n = 1000 \times (0.32 - 0.22) \times 1 = 100$ میلی‌متر است. رطوبت خاک در زمان آبیاری بر مبنای معیارهای طرح آبیاری (آب سهل‌الوصول^۱ یا تخلیه مجاز مدیریتی^۲) تعیین می‌شود.

ج- هدایت هیدرولیک

حجم آبی که در واحد زمان از خاکی با سطح مقطع واحد عبور کند، به شرطی که شیب هیدرولیکی در آن برابر واحد باشد، هدایت هیدرولیک گفته می‌شود. هدایت هیدرولیک از مهم‌ترین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک است که جریان آب در خاک را کنترل می‌کند. نقش هدایت هیدرولیک قائم^۳ در نفوذ عمقی بسیار بیش‌تر از هدایت هیدرولیک افقی است. هدایت هیدرولیک با استفاده از نمونه‌های دست‌نخورده در آزمایشگاه تعیین یا به طور مستقیم در مزرعه اندازه‌گیری می‌شود. برای آگاهی بیش‌تر در مورد روش‌های استاندارد آزمایشگاهی و مزرعه‌ای برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک به نشریه شماره ۳۲۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور (۱۳۸۴) مراجعه شود [۴].

د - سرعت نفوذ

پدیده ورود آب از سطح خاک به درون آن، نفوذ گفته می‌شود. روش‌های زیادی برای توصیف نظری نفوذ آب به خاک ارائه شده است که بعضی از آن‌ها بسیار پیچیده می‌باشند [۵]. مقدار نفوذ عمقی به سرعت نفوذ آب به خاک وابسته است. مشروح روش‌های

1- Readily Available Water (RAW)

2- Management Allowed Depletion (MAD)

3- Vertical Hydraulic Conductivity

استاندارد تعیین سرعت نفوذ آب به خاک در نشریه شماره ۳۵۹ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۸۵) بیان شده است. اداره عمران اراضی ایالات متحده آمریکا^۱ با توجه به سرعت نفوذ، مقادیر نفوذ عمقی در روش‌های آبیاری سطحی را به صورت جدول ۲-۸ ارایه کرده است.

۵- آبدهی ویژه^۲

آبدهی ویژه (S) یا تخلخل موثر^۳ حجم آب قابل زهکشی از یک خاک اشباع تحت نیروی ثقل است و به صورت نسبت حجم آب زهکشی شده به کل حجم خاک اشباع شده تعیین و بر حسب درصد یا اعشاری (بین ۰ تا ۱) بیان می‌شود. از این ضریب برای برآورد خیز سطح ایستابی در اثر تغذیه یا افت آن در اثر تخلیه استفاده می‌شود. در عمق ۱/۲ تا ۳/۰ متری خاک، آبدهی ویژه مناسب حدود ۶-۱۰ درصد است. خاک با این آبدهی ویژه دارای شرایط مناسب تهویه، هدایت هیدرولیک و ذخیره آب برای گیاه می‌باشد. اگر آبدهی ویژه کم‌تر از ۳ درصد باشد، زهکشی خاک مشکل و پرهزینه است. آبدهی ویژه در اغلب خاک‌های زراعی بین ۲ تا ۱۰ درصد متغیر است.

آبدهی ویژه می‌تواند با استفاده از نمونه‌های خاک دست‌نخورده، به روش آزمایشگاهی یا با آزمون‌های مزرعه تعیین شود. در روش آزمایشگاهی، نمونه‌های خاک به حد اشباع رسانیده شده سپس میزان آب خروجی در اثر نیروی ثقل اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای هر دو پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد. همچنین برای تعیین میانگین آبدهی ویژه در منطقه باید نمونه‌برداری متعدد انجام شود. از آنجا که هدایت هیدرولیک خاک در مطالعات زهکشی بررسی و تعیین می‌شود، روابط میان هدایت هیدرولیک و آبدهی ویژه خاک می‌تواند قابل استفاده باشد. بر پایه اطلاعات واقعی در یک روش تجربی، مقدار آبدهی ویژه با استفاده از هدایت هیدرولیک خاک به صورت رابطه (۲-۷) برآورد می‌شود [۸]:

$$S = 0.1 \sqrt{K} \quad (2-7)$$

که در آن:

S = آبدهی ویژه (اعشاری) و

K = هدایت هیدرولیکی خاک (متر بر روز)، می‌باشد.

دقت برآورد مقدار آبدهی ویژه با بهره‌گیری از رابطه (۲-۷) به دقت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک بستگی دارد.

جدول ۲-۷- نفوذ عمقی تقریبی در روش‌های آبیاری سطحی با توجه به بافت خاک [۳۱]

بافت خاک	درصد از عمق خالص آب آبیاری	بافت	درصد از عمق خالص آب آبیاری
Loamy Sand	۳۰	Clay Loam	۱۰
Sandy Loam	۲۶	Silty Clay Loam	۶
Loam	۲۲	Sandy Clay	۶
Silt Loam	۱۸	Clay	۶
Silty Clay	۱۴	-	-

1- United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation (USBR)

2- Specific Yield

3- Effective Porosity

جدول ۲-۸- نفوذ عمقی تقریبی در روش آبیاری سطحی با توجه به سرعت نفوذ آب به خاک [۳۱]

سرعت نفوذ آب به خاک (میلی متر بر ساعت)	نفوذ عمقی (درصد از عمق خالص آبیاری)	سرعت نفوذ آب به خاک (میلی متر بر ساعت)	نفوذ عمقی (درصد از عمق خالص آبیاری)
۱/۳	۳	۲۵/۴	۲۰
۲/۵	۵	۳۱/۷	۲۲
۵/۱	۸	۳۸/۱	۲۴
۷/۶	۱۰	۵۰/۸	۲۸
۱۰/۲	۱۲	۶۳/۵	۳۱
۱۲/۷	۱۴	۷۶/۲	۳۳
۱۵/۲	۱۶	۱۰۱/۶	۳۷
۲۰/۳	۱۸		

مثال - آبدهی ویژه یک خاک با بافت لوم رسی و هدایت هیدرولیک 0.4 سانتی متر بر ساعت (معادل 0.096 متر بر روز) با بهره‌گیری از رابطه (۷-۲) مساوی $S = 0.1 \sqrt{0.096} = 0.030$ یا 3 درصد است.

از رابطه (۷-۲) به صورت $S = \sqrt{K}$ نیز استفاده می‌شود که در آن، S بر حسب درصد و K بر حسب سانتی متر بر روز است.

آهوچا و همکاران^۱ (۱۹۸۹) رابطه تجربی (۸-۲) را برای تعیین آبدهی ویژه ارائه نموده اند [۸]:

$$S = 0.05 \times K^{0.304} \quad (8-2)$$

که در آن، عوامل S و K به همان ترتیب رابطه (۷-۲) تعریف می‌شوند.

برآورد آبدهی ویژه با استفاده از رابطه تجربی (۸-۲) دارای دقت قابل قبول بوده و بهره‌گیری از آن بیش تر متداول است. با این

روش، آبدهی ویژه برای اطلاعات مثال قبل به صورت $S = 0.05 \times (0.096)^{0.304} = 0.024$ یا 2.4 درصد برآورد می‌شود.

در روشی دیگر که آن نیز توسط اداره عمران اراضی ایالات متحده آمریکا ارائه شده، رابطه بین آبدهی ویژه، بافت و ساختمان خاک به صورت جدول ۲-۹ نشان داده شده است.

مقادیر بیشینه و کمینه آبدهی ویژه با توجه به بافت خاک در جدول ۲-۱۰ ارائه شده است. این ارقام جنبه راهنما داشته و دامنه

تغییرات آبدهی ویژه را به طور تقریبی نشان می‌دهد.

در یک روش، بر پایه نظر اداره عمران اراضی کشور ایالات متحده آمریکا، رابطه‌ای بین آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیک خاک

مطابق شکل ۲-۱ برقرار است.

اطلاعی در مورد این که کدامیک از روش‌ها همواره نتیجه صحیح‌تری را در برآورد آبدهی ویژه ارائه می‌کند، در دست نیست. از

آنجا که به طور معمول حفاری‌های زهکشی که با استفاده از مته انجام می‌شود، نمی‌تواند نشان‌دهنده ساختمان خاک باشد، بهره‌گیری

از جدول ۲-۹ در بسیاری از موارد امکان‌پذیر نیست. بسیاری از کارشناسان، استفاده از شکل ۲-۱ و روابط مبتنی بر هدایت هیدرولیک

خاک را مناسب‌تر می‌دانند.

۲-۳-۴-۲ روش‌های متفاوت آبیاری

روش آبیاری مهم‌ترین عامل موثر بر ایجاد نفوذ عمقی (فرونشت) آب در مزرعه بوده و با کنترل عمق نفوذ آب به خاک و سطح

خیس شده، بر مقدار آب آبیاری تلف شده موثر است. روش‌های آبیاری در سه گروه اصلی آبیاری ثقلی، تحت فشار (بارانی و خرد آبیاری^۱) و زیرزمینی طبقه بندی می‌شوند که استفاده از دو روش اول متداول‌تر است. آب در روش‌های آبیاری ثقلی به صورت رواناب سطحی، نفوذ عمقی و تبخیر از سطح خاک مزرعه، در روش‌های بارانی به صورت نفوذ عمقی و تبخیر از سطح خاک مزرعه و پراکنده شدن توسط باد (بادبرد) و در روش‌های خرد آبیاری، به طور عمده به صورت نفوذ عمقی تلف می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، مقدار نفوذ عمقی به بازده کاربرد آبیاری وابسته است که در روش‌های مختلف آبیاری متفاوت می‌باشد و به طور معمول، برحسب درصدی از آب آبیاری کاربردی برآورد می‌شود.

۲-۳-۴-۳- کیفیت شیمیایی آب آبیاری و خاک

در ارزیابی کیفیت آب آبیاری، نوع محدودیت بر مبنای سه معیار هدایت الکتریکی (شوری)، نسبت جذب سدیم و مقدار یون‌های ویژه شامل کلرید، سدیم، بی‌کربنات و بور تعیین می‌شود. به طور معمول، شوری بر مبنای هدایت الکتریکی^۲ آب آبیاری در ۲۵ درجه سلسیوس (سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شده و برحسب دسی‌زیمنس بر متر بیان می‌شود. نسبت جذب سدیم^۳ معیار متداول ارزیابی اثر نامطلوب سدیم آب آبیاری می‌باشد و از رابطه (۹-۲) محاسبه می‌شود [۱۶]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} = Na^+ [0.5(Ca^{2+} + Mg^{2+})]^{-0.5} \quad (9-2)$$

که در آن:

SAR = نسبت جذب سدیم برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر به توان ۰/۵، و Na^+ ، Ca^{2+} و Mg^{2+} = به ترتیب غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر، می‌باشند.

در استنتاج رابطه (۹-۲) فرض می‌شود که محلول خاک به طور عمده، حاوی یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم می‌باشد [۲۶].

مثال- اگر غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم یک نمونه آب آبیاری به ترتیب ۳/۵، ۲/۵ و ۸/۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر باشد، نسبت جذب سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر به توان ۰/۵) با استفاده از رابطه (۹-۲) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SAR = 8 [0.5 \times (3.5 + 2.5)]^{-0.5} = 8 [0.5 \times (6)]^{-0.5} = 8 \times 0.5773$$

$$SAR = 4.6$$

اندازه‌گیری شوری محلول خاک مشکل‌تر بوده و مقدار آن با توجه به رطوبت نمونه خاک، متغیر است. به عنوان یک روش استاندارد مقدار شوری (محلول) خاک به صورت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک^۴ (EC_e) در ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری و برحسب دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) بیان می‌شود. مقدار سدیم خاک با معیار درصد سدیم تبادلی^۵ ارزیابی شده که به صورت رابطه زیر محاسبه و تعیین می‌شود [۱۶]:

- 1- Micro Irrigation
- 2- Electrical Conductivity
- 3- Sodium Absorption Ratio (SAR)
- 4- Soil Saturation Extract
- 5- Exchangeable Sodium Percentage (ESP)

$$ESP = \frac{Ex.Na^+}{CEC} \times 100 \quad (۱۰-۲)$$

که در آن:

ESP = درصد سدیم تبادلی،

Ex.Na⁺ = مقدار یون سدیم تبادلی (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک خشک)، و

CEC = ظرفیت تبادل کاتیونی^۱ (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک خشک)، می‌باشد.

جدول ۲-۹- رابطه آبدهی ویژه، بافت و ساختمان خاک [۳۱]

آبدهی ویژه (درصد)	ساختمان خاک	بافت خاک
۲-۱	Massive, very fine or fine columnar ستونی فشرده ریز و خیلی ریز	Clay Heavy Clay Loam
۲-۱	Very fine or fine prismatic, angular blocky, and platy منشوری ریز و خیلی ریز، مکعبی زاویه‌دار و بشقابی	Clay Clay Loam Silty Clay Sandy Clay Loam
۸-۳	Fine and medium prismatic, angular blocky, and platy منشوری ریز و متوسط، مکعبی زاویه‌دار و بشقابی	Clay Silty Clay Sandy Clay Silty Clay Loam Clay Loam Silty Loam Silt Sandy Clay Loam
۱۲-۶	Medium prismatic and subangular blocky منشوری متوسط، مکعبی بدون زاویه	Light Clay Loam Silt Silt Loam Very Fine Sandy Loam Loam
۱۸-۱۲	Coarse subangular, blocky and granular, fine crumb مکعبی درشت بدون زاویه، اسفنجی ریز و گرد	Fine Sandy Loam Sandy Loam
۲۲-۱۵	Medium crumb اسفنجی متوسط و تک‌دانه‌ای	Loamy Sand Fine Sand
۲۶-۲۲	Single grain تک‌دانه‌ای	Medium Sand
۳۵-۲۶	Single grain تک‌دانه‌ای	Coarse Sand Gravel

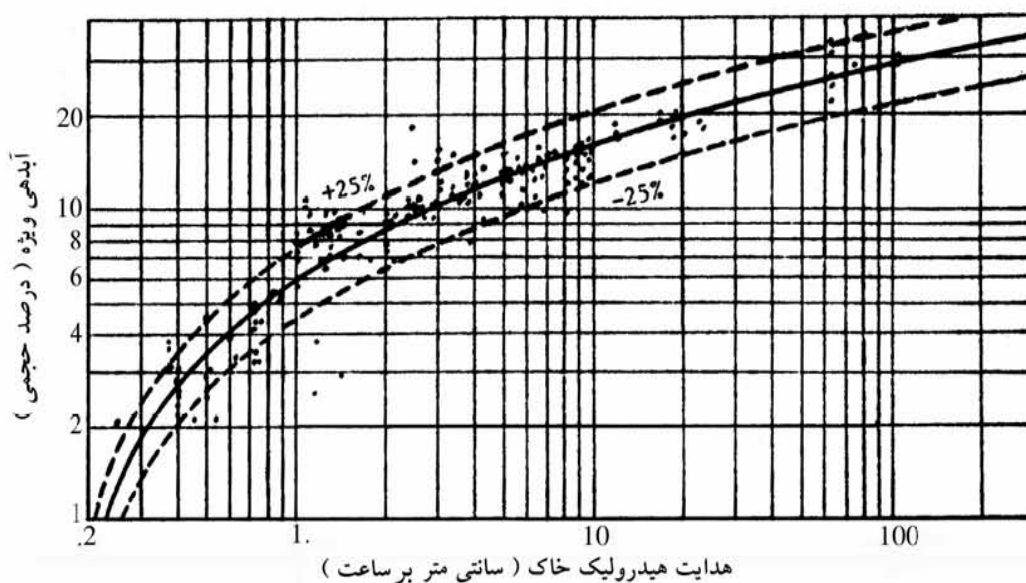
جدول ۲-۱- برآورد مقادیر بیشینه و کمینه آبدهی ویژه خاک با توجه به بافت آن [۲]

بافت خاک	بیشینه (درصد)	کمینه (درصد)	میانگین (درصد)
Clay	۵	۰	۲
Loam	۱۹	۳	۸
Sandy Clay	۱۲	۳	۷
Sand	۲۷	۱۰	۲۱

مثال- اگر مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی و سدیم تبدالی یک نمونه خاک به ترتیب ۴۵ و ۱۲ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک

خشک، اندازه‌گیری شده باشد. درصد سدیم تبدالی این نمونه خاک برابر $ESP = \frac{12}{45} \times 100 = 27$ می‌باشد.

خاک‌های شور و سدیمی بر پایه مقدار شوری و درصد سدیم تبدالی عصاره اشباع خاک به سه گروه خاک‌های شور (dS/m $EC_e < 4$ و $ESP < 15$)، خاک‌های شور و سدیمی ($EC_e > 4$ و $ESP > 15$) و خاک‌های سدیمی غیرشور ($EC_e < 4$ و $ESP > 15$) طبقه‌بندی می‌شوند [۳۱].



شکل ۲-۱- رابطه آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیکی خاک [۳۱]

۲-۳-۴- کنترل شوری و نیاز آبتوی

در شرایطی که آب آبیاری شور باشد، کاربرد مقادیر آب اضافی، افزون بر نیاز آبی گیاه برای آبتوی نمک‌های محلول خاک محدوده توسعه ریشه گیاه ضروری است. نیاز آبتوی (LR) به صورت کم‌ترین آب مورد نیاز آبتوی نمک‌های محلول برای جلوگیری از کاهش عملکرد محصول تعریف می‌شود. در یک روش متداول برای روش‌های آبیاری سطحی، نیاز آبتوی از رابطه تجربی زیر که توسط رودس (۱۹۷۴) و رودس و مریل^۱ (۱۹۷۶) ارائه شده است، به صورت رابطه (۲-۱۱) محاسبه می‌شود [۱۶]:

1- Rhoades & Merill

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5 \times EC_{ts} - EC_{iw}} \quad (11-2)$$

که در آن:

LR = کمترین نیاز آبتوی برای کنترل نمک‌های محلول خاک محدوده توسعه ریشه در حد آستانه تحمل شوری^۱ گیاه،

EC_{iw} = هدایت الکتریکی (شوری) آب کاربردی (آبیاری و بارندگی نفوذ یافته)، و

EC_{ts} = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در آستانه تحمل شوری گیاه، می‌باشد.

در رابطه (۱۱-۲) فرض شده که آب آبتوی با بازده صد در صد با محلول خاک محدوده توسعه ریشه گیاه اختلاط یافته است.

حد آستانه تحمل شوری می‌تواند مقدار شوری مجاز برای تولید ۹۰ درصد عملکرد محصول باشد [۱۶].

در شوری بیش‌تر از آستانه تحمل، عملکرد محصول گیاهان کاهش می‌یابد. در رابطه (۱۱-۲)، EC_{iw} و EC_{ts} برحسب یک واحد

بیان می‌شوند. هدایت الکتریکی آب کاربردی، میانگین وزنی هدایت الکتریکی آب آبیاری و بارندگی است. در مناطق خشک و نیمه

خشک، که بارندگی فصل زراعی ناچیز می‌باشد، EC_{iw} همان هدایت الکتریکی آب آبیاری است.

مثال - در یک منطقه با بارندگی ناچیز، درختان خرما با آب به شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری می‌شوند، نیاز آبتوی برای

آن که شوری عصاره اشباع خاک محدوده توسعه ریشه از ۴/۰ دسی‌زیمنس بر متر (مقدار آستانه تحمل شوری درختان خرما) تجاوز

نکند با استفاده از رابطه (۱۱-۲)، به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$LR = \frac{2.5}{5 \times 4.0 - 2.5} = 0.14$$

کسر (برخه) آبتوی^۲ مقدار آب نفوذ و اختلاط یافته با محلول خاک محدوده توسعه ریشه گیاه می‌باشد. در شرایط ماندگار، کسر

آبتوی بر مبنای رابطه بیلان نمک در محدوده توسعه ریشه گیاه به صورت رابطه (۱۲-۲) محاسبه و تعیین می‌شود [۲۴]:

$$LF = \frac{EC_i}{EC_d} \quad (12-2)$$

که در آن:

LF = کسر (برخه) آبتوی یا کسر آب آبیاری نفوذ و اختلاط یافته با محلول خاک محدوده ریشه گیاه،

EC_i = هدایت الکتریکی آب نفوذ و اختلاط یافته با محلول خاک محدوده ریشه گیاه (دسی‌زیمنس بر متر)، و

EC_d = هدایت الکتریکی زه‌آب نفوذ یافته به ناحیه زیرین محدوده ریشه گیاه (دسی‌زیمنس بر متر)، می‌باشد.

در رابطه (۱۲-۲) موارد رسوب و انحلال نمک‌ها، جذب نمک توسط ریشه گیاه ناچیز و میزان نفوذ آب به خاک و تبخیر- تعرق

گیاه یکنواخت فرض شده است. از آنجا که اندازه‌گیری EC_d ساده نمی‌باشد، به طور معمول فرض می‌شود شوری آب نفوذ یافته

عمقی با میانگین شوری عصاره اشباع خاک محدوده توسعه ریشه (EC_e) پس از آبتوی، مساوی می‌باشد.

در کتابچه مهندسی ملی سازمان حفاظت خاک کشور ایالات متحده آمریکا، برخی روش‌های تجربی برای تعیین EC_d بر مبنای

مقادیری از شوری خاک که بسادگی قابل تعیین باشند، توصیف شده‌اند [۲۴].

به طور معمول، LF و LR را به‌جای یکدیگر مورد استفاده قرار می‌دهند. LF به صورت کسر نمایش داده می‌شود در حالی که

1- Salt tolerance Threshold

2- Leaching Fraction (LF)

LR هم به صورت کسر و هم به صورت درصد آب آبیاری بیان می‌گردد.

در شرایطی که نفوذ عمقی آب آبیاری بیش‌تر از نیاز آبشویی باشد، آبیاری موجب آبشویی نمک‌های محلول خاک محدوده توسعه ریشه گیاهان می‌شود و کاربرد آب اضافی برای آبشویی نمک‌ها ضروری نمی‌باشد [برای اطلاعات بیشتر به بخش ۲-۵ مراجعه شود].

۲-۳-۴-۵- سایر عوامل موثر بر نفوذ عمقی و میزان تاثیر آن‌ها

جریان آب زیرزمینی از بالادست به داخل یک منطقه، ممکن است مسایلی را ایجاد کند که تنها از طریق زهکشی امکان برطرف کردن آن باشد. این گونه جریانهای زیرزمینی را تراوش یا نشت گویند و منطقه‌ای که تحت تاثیر تراوش یا نشت آب قرار می‌گیرد، منطقه تراوش^۱ گفته می‌شود. منبع ایجاد تراوش ممکن است ده‌ها کیلومتر دورتر از منطقه تراوش باشد. تراوش آب به داخل دشت از تپه‌هایی که آن را احاطه کرده، مثالی از این حالت است. برای جلوگیری از زهدار شدن اراضی پایین‌دست، چنانچه زهکش حایل^۲ که می‌تواند آبراهه روباز یا یک خط لوله باشد، ساخته نشود، مقدار نشت از بالادست به نفوذ عمقی حاصل از آبیاری و یا بارندگی در زمین‌های پایین‌دست افزوده می‌شود.

به طور کلی، در زمین‌های پست و مسطح که شیب آن کم‌تر از ۵ در هزار است، مساله زهکشی طبیعی و نشت از اراضی بالادست اهمیت ویژه‌ای دارد. بررسی عمق و شوری آب زیرزمینی می‌تواند در ارزیابی این دو عامل سودمند باشد. وجود سفره آب زیرزمینی سطحی شور در شرایطی که آب و خاک محلی شور نمی‌باشد، نشانه‌ای از نشت آب زیرزمینی از اراضی بالادست بوده که کمیت آن، به تخمین، در حدود توانمندی تبخیر- تعرق منطقه است. همچنین وجود لایه آبدار زیرزمینی غیرشور در اعماق بیش‌تر از دو متر، نشان می‌دهد که زهکشی طبیعی سالانه، بیش از نیاز زهکشی فعلی منطقه می‌باشد. تفاوت دو عامل زهکشی طبیعی و نشت از اراضی بالادست بر میزان ضریب زهکشی موثر است. میزان زهکشی طبیعی مقدار ضریب زهکشی را کاهش و نشت از اراضی بالادست، آن را افزایش می‌دهد.

در شرایطی که یک منبع تغذیه در بالادست زمین‌های تحت آبیاری وجود داشته باشد، با توجه به فرضیه‌های دوپویی - فورشهایمر^۳ که بر مبنای آن جریان آب زیرزمینی افقی (موازی لایه غیرقابل نفوذ) و سرعت جریان در تمامی نقاط نیز متناسب با شیب سطح ایستابی (شیب هیدرولیکی) می‌باشد، قانون داری برای تعیین میزان جریان زیرزمینی به صورت رابطه زیر به کار می‌رود [۲ و ۲۶]:

$$q_x = K \times H \times \tan \alpha \quad (۲-۱۳)$$

که در آن:

q_x = شار (فلوکس) جریان^۴ از واحد عرض (مترمربع بر روز)،

K = هدایت هیدرولیک لایه اشباع (متر بر روز)،

H = ضخامت لایه اشباع یا عمق سطح ایستابی روی لایه غیرقابل نفوذ (متر)، و

$\tan \alpha$ = شیب لایه غیرقابل نفوذ (α زاویه لایه غیرقابل نفوذ با افق) می‌باشد.

- 1- Seep Area (zone)
- 2- IntercepTor Drain
- 3- Dupuit - Forchheimer
- 4- Flow Flux

مثال- شیب عمومی یک منطقه ۰/۰۲، هدایت هیدرولیک اشباع خاک ۲/۵ متر بر روز و سطح ایستابی و لایه غیرقابل نفوذ به ترتیب در عمق ۱ و ۵ متری سطح خاک واقع می‌باشند. زمین‌های پایین‌دست منطقه به علت نفوذ آب‌های زیرزمینی از مناطق بالادست زهدار شده‌اند. مقدار جریان زیرزمینی به مناطق پایین‌دست را با بهره‌گیری از رابطه (۲-۱۳) محاسبه کنید.

$$H = 5 - 1 = 4.0$$

متر

$$q_x = 2.5 \times 4.0 \times 0.02 = 0.2$$

مترمربع بر روز از واحد عرض

مقدار واقعی نشت جریان آب زیرزمینی از اراضی بالادست که متناسب با شیب هیدرولیکی می‌باشد، با انجام بررسی‌های دقیق ژئوهیدرولوژیکی به طور دقیق قابل محاسبه است. روش تشخیص تخمینی به عنوان گام اولیه در مطالعات می‌تواند بر مبنای تفاوت عمق آب زیرزمینی و یا به عبارت بهتر بر مبنای تعیین مقدار حداکثر عمق سطح ایستابی یا تعیین تفاوت شوری آب زیرزمینی در انتهای فصل خشک استوار باشد. سطح ایستابی بالا و شوری زیاد آب زیرزمینی با منشا غیر از آب و خاک محلی نشان می‌دهد که سفره آب زیرزمینی از منابع غیر محلی تغذیه می‌شود [۲۰].

در زمین‌های مسطح تحت آبیاری (شیب‌های کم‌تر از ۵ در هزار) بررسی نوسان موضعی سطح آب زیرزمینی که به طور طبیعی اتفاق می‌افتد، می‌تواند اطلاعات مفیدی از چگونگی زهکشی طبیعی را ارائه دهد. تجزیه و تحلیل بیلان آب در منطقه بهترین روش بررسی توانمندی زهکشی طبیعی محدوده مورد مطالعه می‌باشد. اگر داده‌های کافی در زمینه شیب هیدرولیکی جریان آب زیرزمینی، سطح مقطع جریان و وضعیت هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی منطقه در دسترس باشد، میزان جریان زهکشی طبیعی با بهره‌گیری از رابطه داری، قابل برآورد خواهد بود. با نصب پیژومترهای مرکب در اعماق مختلف، می‌توان جریان نشت از بالادست و یا زهکشی طبیعی را در محدوده مورد مطالعه بررسی و مقدار آن را برآورد کرد.

۲-۳-۵- منشا و شدت جریان قائم به سمت بالا تحت فشار آرتزین

در شرایطی که یک لایه با نفوذپذیری کم (نیمه تراوا) بر روی یک لایه اشباع تحت فشار (لایه آبدار محصور یا آرتزین) قرار گرفته باشد، آب تحت فشار هیدرواستاتیک یا آرتزین از درون لایه با نفوذپذیری کم یا از درون شکاف‌های موجود در این لایه به سمت بالا حرکت می‌کند و موجب خیز سطح ایستابی می‌شود. در مناطقی که دارای چاه‌های آرتزین قدیمی در زیر سطح زمین می‌باشند یا آب تحت فشار آرتزین و بدون تاسیسات مناسب در سطح خاک جاری می‌شود، آب آرتزین می‌تواند موجب زهدار شدن اراضی و صدمه به زمین‌های کشاورزی شود [۲۶]. در مناطقی که فشار آرتزین در لایه آبدار خیلی بالا باشد، خارج کردن آب آرتزین به روش‌های معمول زهکشی، نیاز به یک سامانه متراکم با فواصل زهکش‌های خیلی نزدیک دارد که اغلب، به لحاظ فنی و اقتصادی قابل اجرا نمی‌باشد. در این حالت از طرح زهکشی عمودی (با حفر چاه‌های پمپاژ^۲ در لایه آبدار آرتزین) استفاده می‌شود [۲۶].

جریان قائم آب به سمت بالا از لایه آبدار نیمه محصور، لایه آبدار معلق سطحی^۳ یا لایه آبدار آرتزین (در حالتی که فشار آرتزین لایه آبدار خیلی بالا نباشد)، می‌تواند با تغذیه سفره آب زیرزمینی سطحی موجب بالا آمدن سطح ایستابی شود. ضریب زهکشی در برخی مناطق دارای جریان آرتزین، ۱/۵ تا ۲/۰ برابر مقادیر طبیعی این ضریب در مناطق بدون جریان آرتزین اندازه‌گیری شده است. مقدار

۱- برای آگاهی تفصیلی به نشریه شماره ۱۶۲ با عنوان "دستورالعمل حفر و تجهیز پیژومترهای مرکب" از انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور (۱۳۷۶) مراجعه شود.

جریان قائم به سمت بالا به ضریب زهکشی افزوده می‌شود. مقدار جریان قائم به سمت بالا به فشار آرتزین، هدایت هیدرولیک، ضخامت لایه خاک فوقانی لایه آبدار بستگی دارد و با معادله داری قابل برآورد است.

۲-۳-۵-۱- فشار آرتزین لایه‌های آبدار

فشار آرتزین که برای محاسبه مقدار جریان قائم به سمت بالا و افزودن آن به ضریب زهکشی مورد نیاز می‌باشد، با بررسی و تعیین سطح فشار پیرومتری در لایه آرتزین، به شرط آن که ضخامت آن از حدود ۳۰ سانتی‌متر کم‌تر نباشد، نسبت به سطح ایستابی، با نصب پیرومترهای مرکب اندازه‌گیری می‌شود.

باید توجه شود که ضمن حفاری در نیمرخ خاک به منظور مطالعات زهکشی، ممکن است قبل از رسیدن به لایه آبدار اصلی (سفره اول) به یک لایه آبدار معلق سطحی و محدود آب برخورد شود. در این شرایط، عمق نهایی و متعادل شده آب زیرزمینی برای بررسی اثر آن بر جریان به سمت بالا و میزان ضریب زهکشی، به فاصله لایه آبدار معلق سطحی و لایه آبدار اصلی بستگی دارد (بر این پایه که کدامیک محدودکننده باشد). بنابراین توجه به تغییر رطوبت خاک در ضمن حفاری ضروری است. پس از تعیین عمق نهایی آب زیرزمینی، تاثیر آن بر تغذیه محدوده توسعه ریشه گیاه قابل بررسی و شدت جریان به سمت بالا قابل محاسبه می‌باشد.

۲-۳-۵-۲- هدایت هیدرولیک قائم خاک

هدایت هیدرولیک قائم خاک برابر حجم آبی است که به صورت قائم در واحد زمان از خاکی به سطح مقطع واحد عبور می‌کند، در حالی که شیب هیدرولیکی جریان برابر واحد باشد. هدایت هیدرولیک قائم خاک نیز مشابه هدایت هیدرولیک افقی به وسیله قانون داری تعریف می‌شود.

بر مبنای قانون داری، میزان جریان قائم به سمت بالا با هدایت هیدرولیک قائم خاک لایه‌های مجاور فوقانی طبقه یا لایه محدودکننده نسبت مستقیم دارد. بنابراین هنگامی که جریان قائم به سمت بالا موجب تغذیه محدوده توسعه ریشه گیاه شود، برای برآورد شدت تغذیه، لازم است که مقدار هدایت هیدرولیک قائم خاک بررسی و تعیین شود. ارایه روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک قائم خاک در دامنه کار این نشریه نمی‌باشد. برای آگاهی تفصیلی به نشریه شماره ۳۲۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۸۴) مراجعه شود [۴].

۲-۳-۵-۳- محاسبه شدت جریان قائم به سمت بالا

شدت جریان قائم به سمت بالا در یک خاک متشکل از چند افق متفاوت که در بالای یک لایه آبدار نیمه محصور یا محصور^۱ واقع باشد، با استفاده از معادله داری به صورت رابطه (۲-۱۴) محاسبه می‌شود:

$$q = \frac{\Delta h}{\frac{D_1}{K_1} + \frac{D_2}{K_2} + \dots} = \frac{\Delta h}{C_1 + C_2 + \dots} \quad (2-14)$$

که در آن:

q = شدت جریان قائم به سمت بالا (متر بر روز)،

۱- در طبیعت هیچ لایه‌ای به طور مطلق نفوذ ناپذیر نمی‌باشد [۲۶].

Δh = تفاوت بار هیدرولیکی لایه آرتزین و لایه اول از بالا (متر)،

D_1 و D_2 و 0.00 = ضخامت لایه‌های به ترتیب اول، دوم، 0.00 (متر)،

K_1 و K_2 و 0.00 = هدایت هیدرولیک قائم لایه‌های به ترتیب اول، دوم، 0.00 (متر بر روز)، و

C_1 و C_2 و 0.00 = مقاومت هیدرولیکی^۱ لایه‌های به ترتیب اول، دوم، 0.00 (متر بر روز)، می‌باشد.

در رابطه (۲-۱۴) فرض است در شرایط اشباع، حرکت افقی آب در نیمرخ خاک وجود ندارد.

برای روشن شده چگونگی محاسبه جریان قائم به سمت بالا از یک لایه تحت فشار آرتزین که موجب تغذیه محدوده توسعه

ریشه گیاه می‌شود، به مثال زیر توجه شود:

مثال- در بالای یک لایه شن اشباع، نیمرخ خاک از دو لایه رس با ضخامت متفاوت تشکیل شده است (شکل ۲-۲) ضخامت

لایه رس فوقانی $D_1 = 9.0$ متر و هدایت هیدرولیک قائم آن $K_1 = 0.8$ متر بر روز و ضخامت لایه رس زیرین $D_1 = 1.0$ متر و

هدایت هیدرولیک قائم آن $K_2 = 0.05$ متر بر روز می‌باشد. سطح ایستابی در لایه رس فوقانی ثابت فرض می‌شود. بار هیدرولیکی

لایه شن اشباع در بالای سطح ایستابی قرار می‌گیرد ($\Delta h = 0.05$ متر). لایه رس زیرین نیمه تراوا بوده و تفاوت بار هیدرولیکی دو

لایه شن و رس فوقانی موجب برقراری نوعی جریان قائم به سمت بالا از درون لایه رس زیرین است. شدت جریان قائم به سمت

بالا با استفاده از رابطه (۲-۱۴) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$q = \frac{\Delta h}{\frac{D_1}{K_1} + \frac{D_2}{K_2}}$$

$$q = \frac{0.05}{\frac{9.0}{0.80} + \frac{1.0}{0.05}} = \frac{0.05}{11.25 + 20.00} = \frac{0.05}{31.25} = 0.0016 \quad \text{متر بر روز}$$

بنابراین در شرایط فوق، شدت جریان به سمت بالا $1/6$ میلی‌متر بر روز است. این شدت جریان به مقدار نفوذ عمقی و در نتیجه به

مقدار ضریب زهکشی اضافه می‌گردد. در این مثال لایه رس کم عمق زیرین با نسبت K به D بالا (مقاومت هیدرولیکی پایین)، بیش‌تر از

لایه رس فوقانی (با ضخامت $9/0$ متر) بر جریان قائم به سمت بالا تاثیر دارد. در مثال فوق سطح ایستابی و تفاوت بار هیدرولیکی دو

لایه ثابت فرض می‌شود. در شرایطی که این فرض‌ها برقرار نباشد، نحوه محاسبه تفاوت ندارد و شدت جریان قائم به سمت بالا با

توجه به حاشیه ایمنی (ضریب اطمینان)^۲ طرح زهکشی محاسبه و تعیین می‌شود.

جریان قائم به سمت پایین نوعی از زهکشی طبیعی محسوب شده و موجب کاهش ضریب زهکشی می‌گردد. شدت این جریان نیز،

به روش مشابه با استفاده از رابطه داری و در نظر گرفتن جهت جریان محاسبه می‌شود.

۲-۳-۵-۴ - مفهوم مقاومت هیدرولیکی

لایه محدودکننده، لایه یا طبقه‌ای^۳ با نفوذپذیری کم است که به طور پیوسته در بخش قابل توجهی از زمین‌ها گسترش دارد و ضخامت

1- Hydraulic Resistance

2- Safety Margin

3- Stratum

آن برای جلوگیری از نفوذ عمقی آب و ایجاد شرایط اشباع نیمرخ خاک کافی می‌باشد. هدایت هیدرولیک چنین لایه‌ای بنا بر تعریف اداره عمران اراضی ایالات متحده آمریکا یک پنجم هدایت هیدرولیک لایه مجاور فوقانی یا کمتر می‌باشد [۳۱]. در زمین‌های تحت آبیاری، لایه محدودکننده که در عمق کم خاک واقع باشد، منطقه‌ای است که به لحاظ هیدرولیکی از حرکت به سمت پایین آب جلوگیری می‌کند. برای ارزیابی شدت ممانعت لایه محدودکننده از جریان آب به سمت پایین، از رابطه (۲-۱۵) استفاده می‌شود [۲۶]:

$$C = \frac{D}{K_v} \quad (2-15)$$

که در آن برای لایه مورد نظر:

C = مقاومت هیدرولیکی (روز)،

D = ضخامت لایه (متر یا سانتی‌متر)، و

K_v = هدایت هیدرولیک قائم (متر یا سانتی‌متر بر روز)، می‌باشد.

مثال- مقاومت هیدرولیکی یک لایه به ضخامت ۳/۰ متر و هدایت هیدرولیک قائم ۰/۲۴ متر بر روز، $C = \frac{3.0}{0.24} = 12.5$ روز است. یعنی

مدت زمان عبور آب از این لایه با شیب هیدرولیکی واحد ۱۲/۵ روز طول خواهد کشید.

بر پایه داده‌هایی که نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌باشند، مقادیر زیر برای مقاومت هیدرولیکی خاک‌ها ارائه شده است:

- مقادیر $C = 250$ روز یا بیش‌تر بیانگر وجود نوعی لایه غیرقابل نفوذ واقعی در نیمرخ خاک می‌باشد.

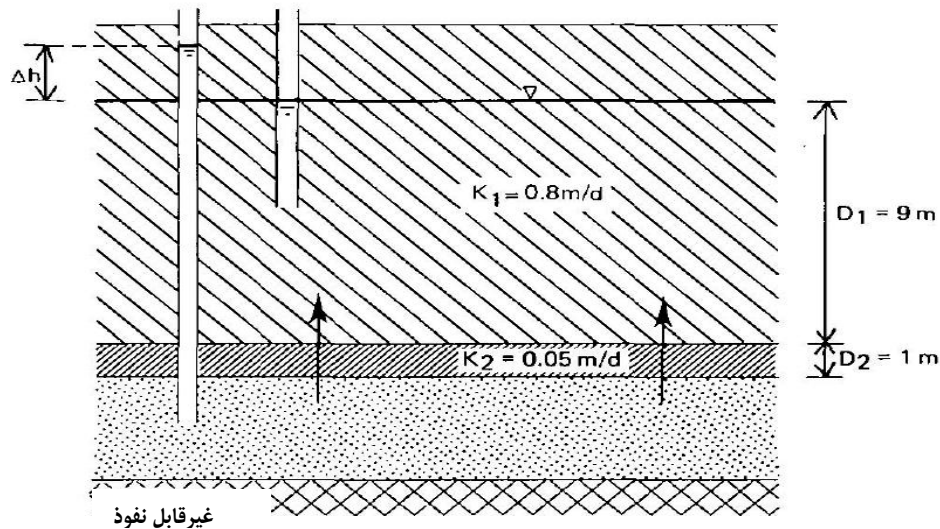
- مقادیر $C = 50$ روز یا کمتر بیانگر عدم وجود لایه غیرقابل نفوذ واقعی در نیمرخ خاک است.

- مقادیر $C = 50 - 250$ روز، بر مبنای شرایط خاک می‌تواند بیانگر وجود یا عدم وجود لایه غیرقابل نفوذ در نیمرخ خاک

باشد. در این حالت باید ویژگی‌های هیدرولیکی سایر لایه‌های مجاور آن لایه بررسی و سپس نتیجه‌گیری شود.

۲-۳-۵-۵- وضعیت و چگونگی ضخامت لایه‌های محدودکننده

لایه محدودکننده دارای ضخامت کافی برای ایجاد مقاومت زیاد نسبت به جریان عمودی به سمت پایین یا نفوذ عمقی می‌باشد. بنابراین در بررسی جریان آب در نیمرخ خاک محدوده توسعه ریشه گیاهان، تشخیص یا تخمین عمق لایه محدودکننده از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. لایه محدودکننده که وضعیت آن به ویژگی‌های هیدرولیکی لایه‌های مجاور لایه محدودکننده بستگی دارد، از دیدگاه هیدرولیک، عمق و جریان آب زیرزمینی را کنترل می‌کند. چنانچه آب نفوذ یافته در نیمرخ خاک پس از رسیدن به لایه محدودکننده و ایجاد شرایط اشباع بر روی آن حرکت جانبی نداشته باشد، به صورت جریان قائم به سمت بالا به محدوده توسعه ریشه گیاه حرکت می‌کند. شدت این جریان به هدایت هیدرولیک قائم لایه‌های فوقانی بستگی دارد. بنابراین در مطالعات زهکشی، شناخت ویژگی‌ها و به خصوص هدایت هیدرولیک لایه‌های عمیق‌تر نیمرخ خاک و در اغلب شرایط تا اعماق ۵/۰ یا ۶/۰ متر ضروری است.



شکل ۲-۲- جریان قائم به سمت بالا از دو لایه رسی با هدایت هیدرولیک و ضخامت متفاوت

۲-۳-۵-۶- برآورد میزان نفوذ عمقی آب در شرایط مختلف کشت

در مناطق خشک و نیمه خشک، میزان نفوذ عمقی برای طراحی، به طور معمول، برای شرایط فصل زراعی (آبیاری) تعیین می‌شود. برای این منظور می‌توان سه حالت زیر را در نظر گرفت:

حالت اول- طراحی برای شرایط ترکیب کشت گیاهان مختلف، حالت ماندگار

حالت دوم- طراحی برای شرایط ماه بیشینه نیاز آبی گیاهان پرمصرف در ترکیب کشت، حالت ماندگار یا غیرماندگار

حالت سوم- طراحی بر پایه برنامه آبیاری گیاهان با بیش‌ترین نیاز آبی، حالت ماندگار یا غیرماندگار

در حالت اول، با توجه به وجود گیاهان مختلف با نیازهای آبی متفاوت، میزان نفوذ عمقی بر مبنای حالت متوسطی از عوامل تغذیه تعیین می‌شود. محدودیت این حالت ناکافی بودن ظرفیت زهکش‌ها برای تخلیه زه‌آب در صورت کشت محصولات با نیاز آبی بیش‌تر و در سطح وسیع‌تر، خواهد بود. بنابراین در مناطقی که زراعت در آنها ترکیبی از محصولات مختلف با نیازهای آبی متفاوت بوده و کشت هر محصول در هر قطعه از زمین‌ها محتمل است، به طور معمول از این حالت برای طراحی استفاده نمی‌شود. در حالت دوم، بیش‌ترین میزان نفوذ عمقی بر مبنای آب آبیاری گیاهان با بیش‌ترین نیاز آبی در ماه با بیشینه مصرف آب (شرایط ماندگار یا غیرماندگار) برآورد می‌شود. در حالت سوم، تنها یک دور آبیاری مورد توجه قرار می‌گیرد و آن نوبتی از آبیاری است که در آن مقدار آب کاربردی، بیش‌ترین و یا فاصله آبیاری کم‌ترین است. در دو حالت اخیر اگر محصولات مورد نظر به صورت متمرکز و بر روی یک خط لوله زهکشی معین کشت شوند، ظرفیت زهکش‌های مزرعه برای تخلیه زه‌آب، کافی بوده و در صورت کشت با محصولات با مصرف آب کم‌تر، زهکش‌ها نیز به میزان کم‌تری تخلیه خواهند کرد. هرچند در این شرایط سامانه زهکشی متراکم و پرهزینه‌تر است. انتخاب معیارهای طراحی و نحوه تعیین ضریب زهکشی به جز تجربه طراح، به میزان حساسیت طرح و ضریب اطمینان مورد انتظار نیز بستگی دارد. مثال موردی از مقایسه برآورد نفوذ عمقی با سه حالت فوق، در پیوست ارائه شده است.

۱- مگر اینکه فاصله زهکش‌ها برای حالت اول و قطر آن‌ها بر پایه حالت سوم محاسبه شده باشد.

۲-۴- روش‌های تعدیل میزان نفوذ عمقی و تبدیل آن به شدت تخلیه یا ضریب زهکشی

مقادیر نفوذ عمقی (فرونشت) آب به نیمرخ خاک، پس از تبدیل به شدت تخلیه یا ضریب زهکشی تبدیل می‌شود. در تعدیل نفوذ عمقی باید به موارد زیر توجه شود:

- ارقام نیاز آبی گیاهان که به روش پنمن- مونتیت^۱ محاسبه می‌شود به دلیل تفاوت عملیات زراعی از شرایط استاندارد مورد نظر در این روش و یا استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه غیرمرجع، ممکن است تا ۲۰ درصد بیش‌تر از مقادیر واقعی باشد. بنابراین اصلاح این ارقام بر مبنای شرایط واقعی و تجارب کارشناسی با استفاده از ضرایب تعدیل ضروری است. بنابراین پیشنهاد می‌شود هنگامی که ضرایب واقعی تعدیل در دسترس نباشد، از روش‌ها و ضرایب تعدیل ارائه شده در نشریه فنی شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی (۱۹۹۸) استفاده شود [۱۵].
- میزان تاثیر آب زیرزمینی به صورت صعود مویینه‌ای در تامین نیاز آبی گیاه و تغذیه محدود توسعه ریشه گیاهان در نظر گرفته شود. هرچند در شرایط مزرعه، آزمایش‌های مفصل و دقیق مورد نیاز است تا بتوان تاثیر آب زیرزمینی در کاهش آب آبیاری مورد نیاز گیاه را بررسی و تعیین کرد. برای آگاهی تفصیلی در خصوص روش‌های محاسبه و برآورد میزان صعود مویینه‌ای آب در خاک به نشریه فنی شماره ۲۴ (۱۹۷۷) و تجدید چاپ در (۱۹۸۸) و نشریه فنی شماره ۶۱ (۲۰۰۲) آبیاری و زهکشی سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی^۲ و منبع شماره [۲۶] مراجعه شود.
- بر پایه تجربه، اگر تفاوت مقدار نفوذ عمقی کاربرد آبیاری و نیاز آبتوی (LR) بیش‌تر از ۳۰ درصد نیاز آبتوی باشد، کاربرد آب اضافی برای آبتوی نمک‌ها ضرورت ندارد و آبیاری موجب آبتوی نمک‌های محلول از محدوده توسعه ریشه گیاهان می‌شود. در مواردی که تفاوت این دو کمیت کم‌تر از ۳۰ درصد نیاز آبتوی باشد، برای اطمینان خاطر لازم است که مقدار ۲۵ درصد آب مورد نیاز آبتوی به آب آبیاری یعنی به نفوذ عمقی اضافه شود [۲].
- نفوذ عمقی به طور معمول، بر حسب کسری از مقدار آب آبیاری بیان می‌شود. در شرایطی که اطلاعات کافی از مقدار نفوذ عمقی در مراحل مختلف دوره رشد و نمو گیاهان وجود نداشته باشد، این کسر برای عمق آبیاری با کم‌ترین فاصله در نظر گرفته می‌شود. تجارب نشان می‌دهد که در شرایط واقعی، نفوذ عمقی با افزایش عمق آبیاری آن‌طور که در این روش فرض می‌شود افزایش نمی‌یابد، پس این روش موجب برآورد بیش از واقع^۳ نفوذ عمقی آب در فصل زراعی می‌شود. برخی از طراحان این برآورد زیاد را یک حاشیه ایمنی (ضریب اطمینان) برای طراحی می‌دانند. در حالتی که حاشیه ایمنی برای طراحی مورد نظر نبوده و ارقام واقعی نفوذ عمقی در دسترس نباشد، پیشنهاد می‌شود که شدت تخلیه بر پایه کسری از میانگین عمق آبیاری کاربردی در طول فصل آبیاری و نه بیش‌ترین مقدار آن برآورد شود. این کسر بر پایه قضاوت کارشناسی می‌تواند متوسط یا میانگین وزنی شدت تخلیه در دوره آبیاری باشد.
- اگر ذخیره تغذیه فصلی در جریان ماندگار در نظر گرفته نشود، لازم است که کل نفوذ عمقی آب در فصل آبیاری،

1- Penman- Monteith

۱- نشریه اول توسط دکتر امیر برهان ترجمه و به‌وسیله شرکت مهندسی مشاور پایلا انتشار یافته است (۱۳۶۸). نشریه دوم، نیز توسط مهندس مجتبی

اکرم و همکاران (۱۳۸۶) ترجمه و به‌وسیله کمیته ملی آبیاری و زهکشی منتشر شده است.

3- Overestimate

زهکشی شود. در عمل این ذخیره در خاک، به ویژه در شرایطی که عمق نصب زهکش‌ها زیاد و سطح ایستابی در ابتدای فصل آبیاری پایین می‌باشد، ممکن است مجاز باشد. مقدار آب قابل ذخیره در خاک بر پایه خیز تدریجی سطح ایستابی اندازه‌گیری می‌شود. این ذخیره یا مقداری از آن می‌تواند در فصل غیر زراعی زهکشی شود و در نتیجه ضریب زهکشی طرح در فصل زراعی می‌تواند کاهش یابد. به عنوان مثال، اگر در خاکی سطح ایستابی اولیه در عمق ۲/۵ متر، بالاترین عمق سطح ایستابی مجاز ۱/۰ متر و آبدهی ویژه ۱۰ درصد باشد، آب می‌تواند تا ۱۵۰ میلی‌متر در نیمرخ خاک ذخیره شود.

– هنگامی که بخشی از مزارع برای مدت زمان طولانی، نظیر یک فصل، به صورت آیش باشند، میزان نفوذ عمقی در محدوده طرح زهکشی کاهش می‌یابد که باید بر این پایه ضریب زهکشی تعدیل گردد. مقدار کاهش نفوذ عمقی به مساحت نسبی مزارع تحت کشت، اندازه و نحوه آرایش مزارع آیش و مزارع تحت کشت و آبیاری هم‌زمان بستگی دارد (به مثال پیوست مراجعه شود).

نفوذ عمقی در یک دوره معین نظیر فاصله بین نوبت آبیاری، پس از تعدیل به شدت تخلیه یا ضریب زهکشی تبدیل می‌شود. بدین ترتیب که برای تبدیل نفوذ عمقی به شدت تخلیه یا ضریب زهکشی در حالت ماندگار، باید مقدار نفوذ عمقی بر فاصله آبیاری تقسیم شده و میانگین زه‌آب خروجی روزانه تا قبل از آبیاری نوبت بعد تعیین شود. در حالت غیرماندگار، نفوذ عمقی در یک دوره معین مورد نظر باید به یک بار هیدرولیکی (استاتیک) مورد نیاز برای خروج این مقدار جریان توسط سامانه زهکشی تبدیل گردد. این بار هیدرولیکی موقعیت سطح ایستابی را در ابتدای محاسبات تغذیه لحظه‌ای آب زیرزمینی نشان می‌دهد. میزان تخلیه باید به نحوی محاسبه شود که سطح ایستابی تا نوبت آبیاری بعدی در بالاترین عمق مجاز طراحی، کنترل شده باشد.

فصل ۳

کاربرد و تعدیل ضریب زهکشی

زیرزمینی در طراحی سامانه‌های

زهکشی

۳-۱- جنبه‌های کاربرد ضریب زهکشی زیرزمینی

در زمین‌های تحت آبیاری، ضریب زهکشی زیرزمینی در شرایط ماندگار به دو صورت: برای طراحی فاصله زهکش‌های مزرعه و برای طراحی قطر آن‌ها که به فاصله بستگی دارد، استفاده می‌شود [۲۰]. برای تعیین ظرفیت زهکش‌های جمع‌کننده نیز از ضریب زهکش‌های مزرعه استفاده می‌شود، که مقدار آن به سطح تحت پوشش (هر زهکش) جمع‌کننده بستگی دارد. بنابراین ضریب زهکشی برای محاسبه فاصله زهکش‌ها، پایه تعیین سایر ضرایب طراحی است و با توجه به عوامل گوناگون و موثر بر آن، باید بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد.

الف- ضریب زهکشی برای محاسبه فاصله زهکش

این ضریب به طور اساسی، یک معیار طراحی در حالت جریان ماندگار است و بر مبنای معادله بیلان آب به صورت رابطه (۳-۱) محاسبه می‌شود [۲۰]:

$$Q_s = R_f + S_c + S_i - D_n \quad (۳-۱)$$

که در آن:

Q_s = ضریب زهکشی زیرزمینی (مقدار آبی که باید توسط زهکش زیر زمینی از مزرعه خارج شود)،

R_f = تغذیه آب زیرزمینی به وسیله بارندگی یا نفوذ عمقی با منشا کاربرد آب آشوبی یا آبیاری غیر یکنواخت در مزرعه،

S_c = نشت از آبراهه‌های مزرعه‌ای،

S_i = نشت ورودی^۱ حاصل از جریان زیرزمینی و شامل جریانهای تحت فشار به سمت بالا، و

D_n = توانمندی زهکشی طبیعی یا خروج طبیعی آب زیرزمینی از محدوده زهکش، می‌باشد.

عوامل تغذیه و تخلیه در رابطه (۳-۱) برای یک دوره معین نظیر یک فصل زراعی یا یک سال بررسی و تعیین می‌شوند و ممکن است برحسب ارتفاع آب در واحد زمان (میلی متر بر روز) یا بده بر واحد سطح^۲ (لیتر بر ثانیه بر هکتار) بیان شوند.

مثال- در یک مزرعه دارای خاک با بافت رس، آب آبیاری مورد نیاز زراعت گندم در ۱۵۰ روز فصل رشد ۱۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. که ۳۰ درصد آن به صورت نفوذ عمقی تلف می‌شود. نیاز آشوبی محاسبه شده در کل فصل زراعی با بازده ۱۰۰ درصد، ۲۶۰ میلی‌متر بوده و فصل آبیاری بدون بارندگی است. زهکشی طبیعی منطقه $D_n = 0.5$ میلی‌متر بر روز برآورد می‌شود. مقدار نشت از نهرچه‌های آبیاری $S_c = 0.4$ میلی‌متر بر روز بوده و نشت آب زیرزمینی از بالادست به محدوده طرح مشاهده نشده است ($S_i = 0$). ضریب زهکشی زیرزمینی برای شرایط فوق را محاسبه کنید.

نفوذ عمقی آب آبیاری در فصل آبیاری (و بدون بارندگی)، $390 = 1300 \frac{30}{100}$ میلی‌متر می‌باشد. تفاوت نفوذ عمقی آبیاری (۳۹۰

میلی‌متر) و نیاز آشوبی (۲۶۰ میلی‌متر) از ۳۰ درصد نیاز آشوبی (میلی‌متر $260 \times 0.3 = 78$) بیش‌تر است و کاربرد آب آبیاری اضافی برای آشوبی نمک‌های محلول از محدوده توسعه ریشه گیاه مورد نیاز نمی‌باشد. برای شرایط گفته شده در مثال فوق میزان نفوذ عمقی آب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_f = 0.3 \times I = 0.3 \times \frac{1300}{150} = 2.6 \quad \text{میلی متر بر روز}$$

$$Q_s = 2.6 + 0.4 + 0 - 0.5 = 2.5 \quad \text{میلی متر بر روز}$$

ب- ضریب زهکشی برای محاسبه قطر لوله‌های زهکش مزرعه‌ای

مقدار جریان ورودی (بده طراحی) به لوله‌های زهکشی زیرزمینی را می‌توان با بهره‌گیری از روابط مناسب برای حالتی که سطح ایستابی در بالاترین حد مناسب برای طراحی باشد، محاسبه کرد. این کران بالا با استفاده از اطلاعات واقعی یا مقادیر تجربی تعیین می‌شود.

ظرفیت هیدرولیکی زهکش‌ها را می‌توان با استفاده از رابطه مانینگ به دست آورد. با مساوی قرار دادن بده طراحی و ظرفیت هیدرولیکی مجرا (آبراهه لوله‌ای با جریان پر ولی آزاد برای انتقال زه‌آب)، قطر مورد نیاز از طریق رابطه (۲-۳) محاسبه می‌شود [۶]:

$$d = 51.7(q \times A \times n)^{0.375} \times S^{-0.1875} \quad (2-3)$$

که در آن:

d = قطر داخلی لوله (میلی متر)،

q = ضریب زهکشی (میلی متر بر روز)،

A = مساحت محدوده زهکشی (هکتار)،

n = ضریب زبری در رابطه مانینگ، و

S = شیب طولی خط زهکش (متر بر متر) می‌باشد.

پس از محاسبه قطر زهکش، اولین اندازه قطر لوله که به صورت تجاری تولید و در منطقه در دسترس است، انتخاب می‌گردد^۱.

مثال- در یک شبکه زهکشی، ضریب زهکشی ۲/۰ میلی متر بر روز، سطح زهکشی ۱/۱۵ هکتار، ضریب زبری لوله‌های زهکش بتنی ۰/۰۱۵ و شیب طولی خط زهکش ۵ در هزار می‌باشد. قطر لوله زهکش را با بهره‌گیری از رابطه (۲-۳) محاسبه کنید.

$$d = 51.7 \times (2.0 \times 1.15 \times 0.015)^{0.375} \times (0.005)^{-0.1875} = 39.50 \quad \text{میلی متر}$$

بر پایه مقدار محاسبه شده ۳۹/۵۰ میلی متر، اولین اندازه قطر لوله در دسترس انتخاب شود.

ج- ضریب زهکشی برای محاسبه ظرفیت زهکش‌های جمع‌کننده

ضریب زهکشی برای محاسبه ظرفیت زهکش‌های جمع‌کننده تابع ضریب زهکشی زهکش‌های مزرعه‌ای، مساحت زمین‌های تحت پوشش طرح و مساحت زمین‌های تحت آبیاری هم‌زمان می‌باشد. اگر A ، مساحت زمین‌های تحت پوشش یک خط زهکش جمع‌کننده، A_c مساحت زمین‌های تحت آبیاری هم‌زمان، Q و Q_c به ترتیب جریان ورودی به زهکش‌های جمع‌کننده پس از آبیاری مساحت‌های به ترتیب A و A_c باشند، مقدار جریان واقعی ورودی به زهکش‌های جمع‌کننده در صورت آبیاری سطح A_c بر پایه مقدار جریان Q و بهره‌گیری از ضرایب اصلاح ارایه شده در جدول ۳-۱ تعیین می‌شود. به عنوان مثال، اگر تنها ۲۰ درصد از مساحت یک مزرعه کشت شده به طور هم‌زمان

۱- برای آگاهی تفصیلی به فصل دوم "مبانی و ضوابط طراحی تجهیز و نوسازی اراضی خشکه‌زاری، جلد سوم: زهکشی" نشریه شماره ۳-۳۴۶ معاونت

برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۸۵) ارایه شده است (۱۳۸۵) مراجعه شود [۶].

آبیاری شود، نسبت A_c به A مساوی $0/2$ بوده و شدت تخلیه برای زهکش‌های جمع‌کننده مساوی $Q_c = 0.85Q$ است. پس ظرفیت طراحی برای زهکش‌های جمع‌کننده ۸۵ درصد ظرفیت زهکش‌های مزرعه‌ای می‌باشد.

مساحت زمین‌های تحت آبیاری هم‌زمان، از ضریب دیگری برای در نظر گرفتن نسبت مساحت زمین‌های تحت کشت به کل مساحت محدوده طرح نیز استفاده می‌شود. این ضریب مستقل از موقعیت زمین‌ها نسبت به زهکش‌های جمع‌کننده می‌باشد. چنانچه تمامی زمین‌های طرح به طور هم‌زمان آبیاری شوند، بده زهکش‌های جمع‌کننده همان شدت تخلیه زهکش‌های مزرعه‌ای است [۲۰].

۳-۲- رهنمودهای لازم در مورد تبدیل و تعدیل ضریب زهکشی زیرزمینی

فاصله زهکش‌ها در بسیاری از روابط مبتنی بر جریانهای ماندگار، به طور تقریبی با ریشه دوم ضریب زهکشی نسبت معکوس دارد. نگاهی ساده به این رابطه، ممکن است نقش خطا را در برآورد ضریب زهکشی کم اهمیت جلوه دهد، ولی کاهش ضریب زهکشی به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد می‌تواند موجب افزایش فاصله زهکش‌ها تا حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد و در نتیجه کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های طراحی، اجرا و نگهداری سامانه‌های زهکشی زیرزمینی شود. ارزیابی عملکرد سامانه‌های زهکشی در حال بهره‌برداری نشان می‌دهد که ضریب زهکشی با بیشینه سازی عوامل تغذیه، ممکن است تا ۴۰ درصد بیش از ضریب زهکشی واقعی محاسبه شود [۱]. برای پرهیز از برنامه‌ریزی طرح‌های پر هزینه و شبکه زهکشی متراکم، ضریب زهکشی در موارد زیر باید تعدیل شود:

- توانمندی زهکشی طبیعی زمین‌ها باید ارزیابی شده و برای اندازه‌گیری یا برآورد آن اهتمام شود. تحلیل بیلان آب در منطقه بهترین روش بررسی توانمندی زهکشی طبیعی محدوده مورد مطالعه می‌باشد، این روش به داده‌های کافی در زمینه شیب جریان آب زیرزمینی، سطح مقطع جریان و شرایط هیدرولوژیکی آب‌های زیرزمینی منطقه نیازمند است تا بتوان میزان جریان زهکشی طبیعی را بر پایه رابطه داری برآورد کرد. بدین منظور پیشنهاد می‌شود برای ارزیابی توانمندی زهکشی طبیعی منطقه مورد مطالعه، تغییرات موضعی هم‌زمان عمق و شوری آب زیرزمینی در محدوده طرح بررسی شده تا ضرورت انجام مطالعات پیشرفته ژئوهیدرولوژیکی مشخص شود.

جدول ۳-۱- ضرایب اصلاح بده زهکش‌های جمع‌کننده بر پایه کسر زمین‌های تحت آبیاری هم‌زمان [۲۰]

۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵۰	۱/۰۰	A_c / A
۰/۷۰	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۶	۱/۰۰	ضریب اصلاح

- امکان تغذیه موضعی آب زیرزمینی حاصل از تلفات نفوذ عمقی طرح‌های بالادست منطقه طرح زهکشی (از قبیل طرح‌های آبیاری، شبلات و غیره) بررسی و در صورت وجود، اثرهای آن بر افزایش ضریب زهکشی مطالعه و تعیین شود. همچنین اثرهای تغذیه و تخلیه مجاری آب بر طبیعی از قبیل رودخانه‌های فصلی، دایمی و مسیل‌ها یا مجاری آب‌بر ایجاد شده نیز باید بررسی و تعیین شود.

- استفاده از نتایج مطالعات آب زیرزمینی، داده‌های مورد نیاز برای حل مسایل زهکشی زیرزمینی را ارایه می‌کند. چنانچه اطلاعات کافی برای شناخت و ارزیابی ویژگی‌های سفره آب زیرزمینی اصلی (سفره اول) و اجزای بیلان آب در منطقه

طرح در دسترس نباشد، انجام مطالعات آب زیرزمینی یک اقدام اساسی برای ارزیابی عوامل تغذیه و تخلیه در شرایط واقعی می‌باشد.

– نقش زهکش‌های جمع‌کننده و اصلی در تخلیه زه‌آب و اثر آن بر ضریب زهکشی بررسی شود. در سامانه‌های زهکشی زیرزمینی، اگر زهکش‌های جمع‌کننده از نوع لوله‌های مشبک یا منقطع ساخته و فیلترریزی شده و در عمق مناسب نصب شوند و همچنین دارای ظرفیت کافی برای دریافت و انتقال زه‌آب باشند، بخشی از زه‌آب (حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد) را به طور مستقیم دریافت و تخلیه می‌کنند. تعدیل ضریب زهکشی در این مورد می‌تواند منجر به افزایش فاصله زهکش‌ها و کاهش بده طرح زهکشی گردد. شعاع تاثیر زهکش‌های جمع‌کننده با حفر چاهک‌های مشاهده‌ای در طرح‌های اجرا شده یا در مزرعه آزمایشی زهکشی، قابل بررسی می‌باشد. برای اطلاعات بیشتر به نتایج طرح تعدیل ضریب زهکشی در دشت مغان مراجعه شود [۱].

– از آنجا که نوسان آب زیرزمینی تمامی عوامل موثر بر سطح ایستابی را نشان می‌دهد، لازم است نوسان سطح ایستابی در یک دوره زمانی بلند مدت و به طور معمول بیش‌تر از یک سال بررسی شود. بنابراین شدت تخلیه به نحوی تعیین شود که سطح آب در طول مدت معین (به عنوان مثال یک سال یا یک دوره تناوب کشت)، به محل اولیه خود باز گردد و افزایش یا کاهش عمق آب زیرزمینی در دامنه تغییرات مطلوب باشد.

– در تعیین ضریب زهکشی برای طراحی و حل مسایل زهکشی، باید به راهکارهای غیرسازه‌ای نیز توجه شود. در مناطقی که به مشکلات زهکشی حساس هستند، انتخاب ترکیب و تناوب کشت مناسب در طرح‌های آبیاری و زهکشی، می‌تواند یک راهکار غیرسازه‌ای کاهش مقدار نفوذ عمقی باشد. توصیه برای افزایش بازده آبیاری نیز راه حل دیگری است که می‌تواند ضریب زهکشی را کاهش دهد.

۳-۳- ضرورت بررسی و مقایسه ضریب زهکشی زیرزمینی به برآوردی با مقادیر واقعی

طراحان به طور معمول به دلیل در دسترس نبودن مزارع آزمایشی و داده‌های محلی و عدم ارزیابی و پایش^۱ طرح‌های اجرا شده، ضریب زهکشی زیرزمینی را بر پایه بیشینه‌سازی عوامل مرتبط با تغذیه عمقی سفره آب زیرزمینی و با اعمال ضریب‌های اطمینان زیاد برآورد می‌نمایند. این روش موجب می‌شود ضریب زهکشی گاه تا ۴۰ درصد بیش از مقدار واقعی انتخاب شود. از آنجا که آزمایش‌ها و ارزیابی چندانی در سطح ملی برای بهینه‌سازی مبانی و معیارهای طراحی زهکشی زیرزمینی از جمله ضریب زهکشی انجام نشده، از این نظر ضروری است که با ارزیابی و پایش طرح‌های زهکشی اجرا شده و در حال بهره‌برداری، نگرش‌های نوینی در اصلاح و بهبود معیارهای زهکشی مطرح شود.

در سال‌های اخیر، براساس تجارب ملی و بین‌المللی، کاهش ضریب زهکشی در طرح‌های جدید مورد توجه طراحان قرار گرفته است. ارزیابی طرح‌های زهکشی اجرا شده در شرایط بهره‌برداری و نگهداری واقعی می‌تواند به طور مستمر اطلاعاتی را در تعیین ضریب زهکشی برای طرح‌های جدید ارائه کند. بنابراین در رویکرد بهبود معیارهای طراحی زهکشی زیرزمینی، می‌توان هر یک از شبکه‌های زهکشی کشور را به عنوان یک مزرعه آزمایشی وسیع در نظر گرفت و از مطالعه عملکرد آن برای انجام تحقیق بیش‌تر استفاده کرد. آزمون روش‌های طراحی و استقرار زهکش‌ها، استاندارد کردن روش‌های برآورد یا اندازه‌گیری عوامل مرتبط با ضریب

زهکشی می‌تواند از جمله هدف‌های مهم ارزیابی و پایش طرح‌های زهکشی اجرا شده باشد.

در طرح‌های جدید، استفاده از مزارع آزمایشی و تعیین ضرایب زهکشی در شرایط واقعی می‌تواند نتایج بسیار ارزشمند فنی و مالی را به دنبال داشته باشد. ضوابط انتخاب و طراحی مزرعه آزمایشی زهکشی زیرزمینی در نشریه شماره ۳۴۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۸۵) ارایه شده است [۸]. اگر شرایط ساخت مزرعه آزمایشی به دلیل کمبودهای اعتباری، کمبود نیروی انسانی، مشکلات مالکیت و سایر عوامل فراهم نباشد، می‌توان اولین مزرعه زهکشی شده هر طرح را به مزرعه آزمایشی تبدیل نموده و عملکرد زهکش‌ها را در شرایط آن ارزیابی کرد که نتایج برای ادامه طراحی قابل استفاده می‌باشد. امروزه با کاربرد مدل‌های رایانه‌ای می‌توان شرایط بهینه‌ای را انتخاب کرد که در آن بتوان به بهترین نتایج از دیدگاه مدیریت منابع آب و خاک دست یافت. بررسی و مقایسه ضرایب زهکشی محاسبه شده با مقادیر واقعی، اطلاعات مناسبی را برای استفاده از مدل‌های زهکشی رایج ارایه می‌دهد.

پیوست

مثال- در یک منطقه نیمه خشک، برای طراحی سامانه زهکشی در زمین‌های یک ناحیه تحت آبیاری به وسعت ۱۳۶۰۰ هکتار، اطلاعات زیر جمع آوری شده است:

هدایت الکتریکی آب آبیاری ۲/۰ دسی‌زیمنس بر متر و بافت خاک سطحی لوم و لوم سیلت می‌باشد. جریان آب در آبراهه‌ها دایم بوده و بده آبیاری ثابت (بازده انتقال ۹۰ درصد) است. مساحت قطعات زراعی تسطیح شده، بیش‌تر از ۲۰ هکتار می‌باشد. آب توسط آبراهه‌های پوشش شده و لوله‌های زیرزمینی انتقال می‌یابد و میانگین بازده توزیع ۸۰ درصد است. نیمی از مزارع به روش کرتی و نواری و بقیه به طور مساوی با استفاده از سامانه‌های بارانی متحرک و قطره‌ای آبیاری می‌شوند و میانگین بازده کاربرد آبیاری ۷۰ درصد است. ترکیب کشت پیشنهاد شده شامل گندم و جو، گوجه‌فرنگی زودرس، گوجه‌فرنگی معمولی، سبزی و صیفی، شبدر، ذرت علوفه‌ای و لوبیا و با سطح کشت به ترتیب ۳۵/۰، ۵/۰، ۲۵/۰، ۱۲/۵، ۷/۵، ۵/۰ و ۱۰/۰ درصد از کل و زمین‌ها بدون آیش می‌باشد. کشت گیاهان گفته شده در هر قطعه متصور است. فصل آبیاری، از آبان ماه شروع شده تا اردیبهشت ماه ادامه دارد. میانگین باران نفوذ یافته در خاک در ماه‌های آبان تا اردیبهشت به ترتیب ۶۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۱۰۰، ۸۰، ۴۰ و ۲۰ میلی‌متر بوده که ۸۵ درصد آن بارندگی موثر است و بقیه به صورت نفوذ عمقی به ناحیه زیرین محدوده گیاهان تلف می‌شود. آب مورد نیاز آبیاری در ماه‌های فصل رشد بر مبنای نیاز آبی گیاهان به روش پنمن - مونتیت و بیش‌ترین نیاز آبتجویی بر مبنای گیاه گوجه‌فرنگی با آستانه تحمل شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر محاسبه می‌شود. میانگین نفوذ عمقی بر مبنای بافت خاک و روش‌های آبیاری حدود ۲۰ درصد آب آبیاری برآورد می‌شود. نتایج مطالعات خاک‌شناسی و ژئوهیدرولوژیکی منطقه که در دسترس است، نشت جریان آب زیرزمینی به پایین‌دست محدوده مورد مطالعه یا نشت از بالا دست و همچنین جریان به سمت بالا تحت فشار آرتزین و مویینه‌ای به محدوده توسعه ریشه گیاهان را نشان نمی‌دهد. بر پایه تحلیل بیلان آب در منطقه، میزان زهکشی عمقی طبیعی ۰/۶۵ میلی‌متر بر روز برآورد شده است و پیش‌بینی می‌شود که پس از اجرای طرح زهکشی، حدود ۲۰ درصد از میزان نفوذ عمقی به طور مستقیم توسط زهکش‌های (مشبک) جمع‌کننده دریافت گردد. بیش‌ترین سطح مزارع تحت آبیاری هم‌زمان ۲۵ درصد می‌باشد.

مقدار نفوذ عمقی را محاسبه و با تعدیل آن، شدت تخلیه زهکش‌های مزرعه‌ای و زهکش‌های جمع‌کننده را تعیین کنید.

اطلاعات زیر بر پایه داده‌های در دسترس، تهیه می‌شود:

- نیاز آبتجویی (LR) با استفاده از رابطه (۲-۱۱) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5 \times EC_{ts} - EC_{iw}}$$

$$LR = \frac{2.0}{5 \times 2.5 - 2.0} = 0.19$$

- از آنجا که میانگین بازده کاربرد آبیاری ۷۰ درصد می‌باشد، اختلاف نفوذ عمقی کاربرد آبیاری (۳۰ درصد) و نیاز آبتجویی (۱۹ درصد) مساوی ۱۱ درصد بوده که بیش‌تر از ۳۰ درصد نیاز آبتجویی (یعنی بیش‌تر از: $19 \times 0.30 = 5.7\%$) است.

بنابراین کاربرد آب اضافی برای آبتجویی نمک‌های محلول نیمرخ خاک مورد نیاز نمی‌باشد.

- آب مورد نیاز آبیاری گیاهان ترکیب کشت بر پایه ارقام نیاز آبی (که برای اختصار در اینجا ارایه نشده است) و با احتساب بازده آبیاری ۵۰ درصد (حاصل‌ضرب بازده انتقال ۹۰ درصد، توزیع ۸۰ درصد و میانگین کاربرد آب به روش‌های مختلف آبیاری ۷۰ درصد) برای ماه‌های فصل آبیاری محاسبه و در جدول (پ-۱) ارایه شده است. نمونه محاسبات نیز در جدول (پ-۱) ارایه شده

است.

- نفوذ عمقی حاصل از بارندگی افزون بر بارندگی موثر با این فرض که ۱۵ درصد باران نفوذ یافته به صورت عمقی تلف می‌شود، محاسبه و به صورت میانگین روزانه در جدول (پ-۲) ارایه شده است.
 - نفوذ عمقی آب آبیاری بر مبنای ۲۰ درصد نیاز آبیاری (میانگین وزنی) گیاهان ترکیب کشت جدول (پ-۱) محاسبه و نتایج به صورت میانگین روزانه در جدول (پ-۲) ارایه شده است.
 - بر پایه برنامه آبیاری گوجه‌فرنگی معمولی که گیاه با بیش‌ترین نیاز آبیاری در ترکیب کشت می‌باشد، نفوذ عمقی حاصل از بارندگی و آبیاری‌های متوالی در فروردین (با نیاز آبی بیشینه)، محاسبه و نتایج در جدول (پ-۲) ارایه شده است.
 - در کل فصل آبیاری، میانگین وزنی آب مورد نیاز آبیاری گیاهان ترکیب کشت ۱۳۲۳۲ مترمکعب بر هکتار می‌باشد. چنانچه به سطح کشت گیاهان توجه نشود، میانگین حسابی مساوی ۱۳۹۴۲ مترمکعب بر هکتار می‌گردد.
- روش تعیین میزان نفوذ عمقی برای حالت‌های مختلف با استفاده از اطلاعات جدول‌های (پ ۱ تا ۳) به شرح زیر می‌باشد:
- حالت اول: بیش‌ترین مقدار نفوذ عمقی بر پایه میانگین وزنی آب مورد نیاز آبیاری گیاهان ترکیب کشت در فروردین ۲/۶۶ میلی‌متر بر روز بوده که با اضافه شدن ۰/۲ میلی‌متر بر روز نفوذ عمقی حاصل از بارندگی به آن، کل نفوذ عمقی ۲/۸۶ میلی‌متر بر روز و مدول زهکشی معادل آن ۰/۳۳ لیتر بر ثانیه بر هکتار است جدول (پ-۲).
 - حالت دوم: بیش‌ترین مقدار نفوذ عمقی بر پایه آبیاری گوجه‌فرنگی معمولی با بیش‌ترین نیاز آبیاری (۱۶۹۰۰ مترمکعب در طی فصل رشد و ۵۰۷۰ مترمکعب بر هکتار در فروردین) و سطح کشت قابل ملاحظه (۲۵ درصد)، ۳/۲۷ میلی‌متر بر روز تعیین می‌شود و با افزودن ۰/۲ میلی‌متر بر روز نفوذ عمقی حاصل از بارندگی، میزان نفوذ عمقی کل ۳/۴۷ میلی‌متر بر روز و مدول زهکشی معادل آن، ۰/۴۰ لیتر بر ثانیه بر هکتار می‌باشد (جدول پ ۱ و ۲).
 - حالت سوم: بیش‌ترین مقدار نفوذ عمقی حاصل آبیاری گوجه‌فرنگی معمولی برای نوبت آبیاری با کم‌ترین فاصله (۵ روز)، ۳/۵۱ میلی‌متر بر روز بوده که با در نظر گرفتن ۰/۳۲ میلی‌متر بر روز نفوذ عمقی حاصل از بارندگی در طول این مدت، میزان نفوذ عمقی کل ۳/۸۳ میلی‌متر بر روز و مدول زهکشی معادل آن ۰/۴۴ لیتر بر ثانیه بر هکتار است. جدول (پ-۳)

- نتیجه‌گیری

میزان نفوذ عمقی محاسبه شده در سه حالت به ترتیب ۲/۸۶، ۳/۴۷ و ۳/۸۳ میلی‌متر بر روز است. از آنجا که برقراری شرایط ایجاد بیش‌ترین مقدار نفوذ عمقی برای کوتاه‌ترین فاصله آبیاری زراعت گوجه‌فرنگی معمولی (یعنی ۳/۸۳ میلی‌متر بر روز)، تنها برای دوره کوتاهی از فصل زراعی پیش‌بینی شده، تعیین ضریب زهکشی بر مبنای آن موجب برآورد بیش از واقع این ضریب و افزایش هزینه طرح است. محاسبه ضریب زهکشی بر مبنای حالت اول نیز هر چند موجب کاهش ظرفیت بده طرح زهکشی می‌شود ولی محدودیت این حالت ناکافی بودن ظرفیت زهکش‌ها برای تخلیه زه‌آب در صورت کشت گوجه‌فرنگی در سطح وسیع‌تر می‌باشد.

۱- روش محاسبه به صورت زیر است:

$$\text{میلی‌متر بر روز } ۳/۲۷ = ۳۱ \div (۱۰/۱۴ \text{ (میلی‌متر)}) \times ۱۰۰۰ \rightarrow (۱۰/۱۴ \text{ (متر)}) \times ۰/۲۰ = ۰/۵۰۷۰ \text{ (متر)} \div ۱۰۰۰ = (۰/۵۰۷۰ \text{ (مترمکعب بر هکتار)}) \times ۵۰۷۰$$

بنابراین ضریب زهکشی برای زهکش‌های مزرعه‌ای بر پایه حالت دوم ۳/۴۷ میلی‌متر بر روز انتخاب می‌شود.

نکته: چنانچه در این طرح زهکشی، زمین‌هایی نیز به صورت یکپارچه برای آیش در نظر گرفته شود، ضریب زهکشی به موجب آن کاهش می‌یابد. در حالت اول، مساحت و درصد سطح آیش در جدول (پ-۱) اضافه شده و میانگین وزنی آب آبیاری مورد نیاز گیاهان ترکیب در ماه‌های مختلف بر پایه این شرایط محاسبه و سپس نفوذ عمقی تعیین می‌شود. در حالت دوم و سوم، نفوذ عمقی به صورت میانگین وزنی با توجه به سطح کشت گوجه‌فرنگی معمولی و آیش محاسبه می‌گردد.

- تعدیل ضریب زهکشی

در این مثال، زه‌آب جمع‌آوری شده، به طور مستقیم توسط زهکش‌های جمع‌کننده که پیش‌بینی شده ۲۰ درصد نفوذ عمقی کل باشد، $3.74 \times 0.2 = 0.694$ میلی‌متر بر روز محاسبه می‌شود. با افزودن ۰/۶۵ میلی‌متر بر روز زهکشی طبیعی به آن حاصل ۱/۳۴۴ میلی‌متر بر روز است. بنابراین پس از تعدیل نفوذ عمقی کل با کاهش میزان ۱/۳۴۴ میلی‌متر بر روز از آن، شدت تخلیه زهکش‌های مزرعه‌ای ۲/۱۲۶ میلی‌متر بر روز محاسبه می‌گردد.

ضریب زهکشی برای محاسبه ظرفیت زهکش‌های جمع‌کننده با این فرض که بیش‌ترین سطح مزارع تحت آبیاری هم‌زمان ۲۵ درصد می‌باشد، تعدیل می‌شود. با توجه به کسر (نسبت) مساحت تحت آبیاری هم‌زمان به سطح کل، ضریب زهکشی زهکش‌های مزرعه‌ای با ضرب شدن در ضریب اصلاح ۰/۸۹ از جدول ۳-۱، به ۱/۹۰ میلی‌متر بر روز کاهش می‌یابد. چنانچه تخلیه مستقیم زه‌آب به وسیله زهکش‌های اصلی نیز در نظر گرفته شود، ضریب زهکشی برای جمع‌کننده‌ها می‌تواند کم‌تر از این مقدار نیز متصور باشد.

جدو پ-۱- سطح زیرکشت و آب مورد نیاز آبیاری محصولات ترکیب کشت (ارقام با احتساب بازده آبیاری^۱ و برحسب مترمکعب بر هکتار)

ردیف	نوع محصول	سطح زیرکشت						ماه (در فصل آبیاری)			
		هکتار	درصد	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	جمع کل
۱	گندم و جو	۴۷۶۰	۳۵/۰	-	۸۴۵	-	۱۶۹۰	۳۳۸۰	۳۳۸۰	-	۹۲۹۵
۲	گوجه‌فرنگی (زودرس)	۶۸۰	۵/۰	۱۶۹۰	۸۴۵	۱۶۹۰	۱۶۹۰	۳۳۸۰	۳۳۸۰	-	۱۲۶۷۵
۳	گوجه‌فرنگی (معمولی)	۳۴۰۰	۲۵/۰	۸۴۵	۸۴۵	۸۴۵	۲۵۳۵	۴۲۲۵	۵۰۷۰	۲۵۳۵	۱۶۹۰۰
۴	سبزی و صیفی	۱۷۰۰	۱۲/۵	-	-	-	۸۴۵	۳۳۸۰	۵۰۷۰	۵۰۷۰	۱۵۲۱۰
۵	شبدر	۱۰۲۰	۷/۵	۱۶۹۰	۸۴۵	۱۲۶۷	۱۲۶۷	۲۵۳۵	۳۸۰۲	۵۰۷۰	۱۶۴۷۷
۶	ذرت علوفه‌ای	۶۸۰	۵/۰	-	-	-	۱۶۹۰	۲۵۳۵	۵۰۷۰	۵۰۷۰	۱۴۳۶۵
۷	لوبیا	۱۳۶	۱۰/۰	-	۱۶۹	۸۴۵	۱۶۹۰	۳۳۸۰	۳۳۸۰	۱۶۹۰	۱۲۶۷۵
	جمع کل	۱۳۶۰۰	۱۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
	میانگین وزنی در هر ماه**	-	-	۴۲۲	۷۸۲	۵۸۱	۱۷۶۴	۳۴۸۶	۴۱۳۰	۲۰۶۷	-

* به عنوان مثال، در آبان نیاز آبی ۴۲/۲۵ میلی‌متر بر هکتار بوده و آب مورد نیاز آبیاری به صورت زیر محاسبه می‌شود:
 مترمکعب بر هکتار ۸۴۵ (بازده آبیاری) $\times \frac{۴۲}{۱۰۰} = ۳۵۷$ (نیاز آبی، مترمکعب بر هکتار) ۴۲۲/۵

** به عنوان مثال، در آبان میانگین وزنی آب مورد نیاز آبیاری به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1690 \times 5.0 + 845 \times 25.0 + 1690 \times 7.5}{100} = 422 \quad \text{مترمکعب بر هکتار}$$

۱- بازده آبیاری ۵۰ درصد (حاصل‌ضرب بازده انتقال ۹۰، توزیع ۸۰ و کاربرد آبیاری در مزرعه ۷۰ درصد)

جدول پ-۲- مقدار نفوذ عمقی و مدول زهکشی ماهیانه بر پایه آبیاری محصولات ترکیب کشت

مدول زهکشی (لیتر بر ثانیه بر هکتار)	نفوذ عمقی (میلی متر بر روز)			دوره	
	جمع	آبیاری**	بارندگی*	روز	ماه
۰/۳۳	۲/۸۶	۲/۶۶***	۰/۲	۳۱	فروردین
۰/۱۷	۱/۴۳	۱/۳۳	۰/۱	۳۱	اردیبهشت
	۰	۰	۰	۳۱	خرداد
	۰	۰	۰	۳۱	تیر
	۰	۰	۰	۳۱	مرداد
	۰	۰	۰	۳۱	شهریور
	۰	۰	۰	۳۰	مهر
۰/۰۷	۰/۵۸	۰/۲۸	۰/۳	۳۰	آبان
۰/۱۳	۱/۱۲	۰/۵۲	۰/۶	۳۰	آذر
۰/۱۴	۱/۱۹	۰/۳۹	۰/۸	۳۰	دی
۰/۱۹	۱/۶۸	۱/۱۸	۰/۵	۳۰	بهمن
۰/۳۱	۲/۷۲	۲/۳۲	۰/۴	۲۹	اسفند

* میزان ۱۵ درصد باران نفوذ یافته به عنوان نفوذ عمقی حاصل از بارندگی منظور شده است.

** میزان ۲۰ درصد آب آبیاری به عنوان نفوذ عمقی حاصل از کاربرد آبیاری منظور شده است.

*** میزان نفوذ عمقی حاصل از کاربرد آبیاری در ماه‌های مختلف بر پایه ارقام مندرج در جدول (پ-۱) که به عنوان مثال برای فروردین به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{4130}{10000} = 0.413 \text{ متر} = 413 \text{ متر}$$

$$\frac{413 \times 0.20}{31} = 2.66$$

میزان آبیاری، میلی متر بر ماه

میزان نفوذ عمقی، میلی متر بر هکتار بر روز

جدول پ-۳- مقدار نفوذ عمقی و مدول زهکشی بر پایه برنامه آبیاری زراعت گوجه‌فرنگی معمولی

مدول زهکشی (لیتر بر ثانیه بر هکتار)	ضریب زهکشی (میلی‌متر بر روز)	نفوذ عمقی (میلی‌متر بر روز)		فاصله آبیاری (روز)	تقویم آبیاری (روز-ماه)	ردیف
		آبیاری (انتقال، توزیع و کاربرد)	بارندگی			
۰/۱۷	۱/۵	۱/۱۷	۰/۳۳	۱۵	۸/۱۵	۱
۰/۱۳	۱/۱۲	۰/۵۸	۰/۵۴	۳۰	۹/۱	۲
۰/۱۶	۱/۳۹	۰/۵۸	۰/۸۱	۳۰	۱۰/۱	۳
۰/۲۷	۲/۳۴	۱/۷۵	۰/۵۹	۱۰	۱۱/۱	۴
۰/۲۷	۲/۳۴	۱/۷۵	۰/۵۹	۱۰	۱۱/۱۱	۵
۰/۲۷	۲/۳۴	۱/۷۵	۰/۵۹	۱۰	۱۱/۲۱	۶
۰/۳۸	۳/۳۱	۲/۹۱	۰/۴	۶	۱۲/۱	۷
۰/۳۸	۳/۳۱	۲/۹۱	۰/۴	۶	۱۲/۷	۸
۰/۳۸	۳/۳۱	۲/۹۱	۰/۴	۶	۱۲/۱۳	۹
۰/۳۸	۳/۳۱	۲/۹۱	۰/۴	۶	۱۲/۱۹	۱۰
۰/۳۸	۳/۳۱	۲/۹۱	۰/۴	۶	۱۲/۲۵	۱۱
۰/۴۴	۳/۸۳	۳/۵۱	۰/۳۲	۵	۱/۱	۱۲
۰/۴۴	۳/۸۳	۳/۵۱	۰/۳۲	۵	۱/۶	۱۳
۰/۴۴	۳/۸۳	۳/۵۱	۰/۳۲	۵	۱/۱۱	۱۴
۰/۴۴	۳/۸۳	۳/۵۱	۰/۳۲	۵	۱/۱۶	۱۵
۰/۴۴	۳/۸۳	۳/۵۱	۰/۳۲	۵	۱/۲۱	۱۶
۰/۴۴	۳/۸۳	۳/۵۱	۰/۳۲	۵	۱/۲۶	۱۷
۰/۴۲	۳/۶۷	۳/۵۱	۰/۱۶	۵	۲/۱۰	۱۸
۰/۴۲	۳/۶۷	۳/۵۱	۰/۱۶	۵	۲/۶	۱۹
۰/۴۲	۳/۶۷	۳/۵۱	۰/۱۶	۵	۲/۱۱	۲۰

منابع و مراجع

- ۱- آذری. الف، اکرم. م، پذیرا. الف، جبلی. س. ج، دربندی. ص، لطفی. الف، مداح. م، وطن‌زاده. م، و همایی. م، ۱۳۸۱، نگرشی بر مسایل و مشکلات مطالعات و اجرای زهکشی زیرزمینی در ایران، نشریه شماره ۵۹، چاپ اول، تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۲- بای‌بوردی، م، ۱۳۸۴ (با تجدید نظر)، اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک، شماره ۱۳۳۴، چاپ نهم، تهران: دانشگاه تهران.
- ۳- پیش‌نویس استاندارد راهنمای برآورد رواناب در طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۳۸۳، نشریه شماره ۲۸۳-الف، تهران: وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور.
- ۴- دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک به روش‌های مختلف، ۱۳۸۴، نشریه شماره ۳۲۲، تهران: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.
- ۵- راهنمای کاربرد مدل‌های تجربی و نظری آبشویی نمک‌های خاک‌های شور، ۱۳۸۵، نشریه شماره ۳۵۹، تهران: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.
- ۶- سپاسخواه، ع. ر، ج. رحیمی، ع. الف. موحد دانش، ح. صدقی، ع. خلیلی، الف. علیزاده، و ج. فرهودی، ۱۳۸۲، فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهارم: آبیاری، شماره ۲۶۱۶، چاپ دوم، تهران: دانشگاه تهران.
- ۷- ضوابط انتخاب و طراحی مزرعه آزمایشی زهکشی زیرزمینی، ۱۳۸۵، نشریه شماره ۳۴۸، تهران: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.
- ۸- ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی، ۱۳۸۵، نشریه شماره ۳۱۹، تهران: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.
- ۹- علیزاده، الف، ۱۳۸۱ (با تجدید نظر)، طراحی سیستم‌های آبیاری، شماره ۲۶، چاپ چهارم، مشهد: دانشگاه امام رضا (ع).
- ۱۰- مالک، الف، ۱۳۶۲، باران موثر در زراعت آبی، شماره ۴۶، چاپ اول، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- ۱۱- مبانی و ضوابط طراحی تجهیز و نوسازی اراضی خشک‌هزاری، جلد سوم: زهکشی، ۱۳۸۵، نشریه شماره ۳-۳۴۶، چاپ اول، تهران: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.
- ۱۲- مهندسین مشاور پویاب، ۱۳۸۱، مطالعات تکمیلی خاک‌شناسی، زهکشی عمقی و اصلاح اراضی: مطالعات مرحله اول طرح شبکه آبیاری و زهکشی دشت بناب، وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل.
- ۱۳- مهندسین مشاور کارآب، ۱۳۶۸، گزارش اصلاح و بهسازی فیزیکی - شیمیایی خاک و اراضی دشت هندیجان - استان خوزستان.
- 14- Ahmadi Mirkhalegh, Z., 1995, A field approach to estimation of humid area drainage coefficients, Elsevier, Agricultural Water Management, Vol. No. 29(1) pp: 101-109.
- 15- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, 1998, Crop evapotranspiration, Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 56, 300 pp.
- 16- Ayers, R.S., and D. W. Westcot, 1994 (reprinted), Water quality for agriculture, Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 29 (Rev.), 174 pp.

- 17- Christen, E. W., and D. Skehan, 2000, Improving and integrating irrigation and subsurface drainage management in a vineyard; A case study. In G. J. Connellan, (editor), Proceeding of The Conference Australia 2000, Irrigation Association of Australia.
- 18- Christen, E. W., and J. E. Ayars, 2001, Subsurface drainage system design and management in irrigated agriculture: Best management practices for reducing drainage volume and salt load, Technical Report 38.01, CSIRO Land and Water, Griffith, NSW, Australia, 130 pp.
- 19- Doorenbos, J., and W. O. Pruitt, 1984 (rev.), Guidelines for predicting crop water requirements, Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 24, 156 pp.
- 20- Food and Agriculture Organization, 1980, Drainage design factors: 28 questions and answers, FAO, Irrigation and Drainage Paper No. 38, 52 pp.
- 21- Hanson, V. E., O. A. Israelson, and G. Stringham, 1980, Irrigation principles and practices, Copyright by John Willey & Sons, Inc., New York, No. P52, Reprinted by permission of John Willey & Sons, Inc.
- 22- Kraatz, D. B., 1977 (rev.), Irrigation canal lining, Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 2, 170 pp.
- 23- Moustafa, Mahmoud, M., 1998, Irrigation and Drainage System, Pub. Springer Science and Business Media, No.12(2), pp: 141-159.
- 24- Martin, D. L., and J. R. Gilley (editors), 1993, Irrigation water requirements, Chapter 2, Part 623, National engineering handbook (NEH), USDA-SCS, 284 pp.
- 25- Ozturk, A., 2004, Multi-objective drainage requirement of Harran Plane, Pakistan Journal of Biological Sciences, No. 7(2), pp: 150-154.
- 26- Ritzema, H. P.(editor), 1994, Drainage principles and application, Publication 16 (2nd ed.), Wageningen, The Netherlands, ILRI.
- 27- Skaggs, R. W., and J. van Schilfgaard, (editors), 1999, Agricultural drainage, Monograph 38 in The Series Agronomy, Madison, Wisconsin, The United States of America, Society of Agronomy, Crop Science Society of American, Soil Science Society of America.
- 28- Tanji, K. K. (editor), 1990, Agricultural salinity assessment and management, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices, No. 71, New York, The United States of America, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- 29- Tanji, R. K., and N. C. Kielen, 2002, Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas, Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 61, 189 pp.
- 30- United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1973, National engineering handbook (NEH), Section 16 ,Drainage of agricultural land, USDA-SCS, Washington DC.
- 31- United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation (USBR), 1984 (revised reprint), Drainage Manual Washington DC.
- 32- Van Lier, H. N.,L. S. Pereira, and F. R. Steiner (editors), 1999, CIGR Handbook of agriculture engineering, Vol. 1, Land and Water Engineering, American Society of Agricultural Engineers (ASAE).
- 33- Willardson, Lyman S., 1982, Drainage Coefficient, American Society of Agricultural Engineers (ASAE), Vol. 25 (5), pp: 1251-1257.

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

A Guideline for Estimation of Subsurface Drainage Coefficient of Irrigated Lands in Arid and Semi-arid Regions

No. 492

Office of Deputy for Strategic Supervision
Bureau of Technical Execution System

<http://tec.mporg.ir>

Ministry of Energy
Bureau of Engineering Affairs and Technical
Standard for Water and Wastewater

<http://seso.moe.org.ir>

2009

این نشریه

با عنوان راهنمای برآورد ضریب زهکشی زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه‌خشک شامل روش‌های برآورد و تعیین ضریب زهکشی زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و موارد کاربرد آن در زهکشی را ارائه می‌کند و در این رابطه منابع تخلیه و تغذیه آب زیرزمینی در نیمرخ خاک می‌پردازد.