

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

# دستورالعمل تعیین بازده آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری

ضابطه شماره ۶۹۲

وزارت نیرو

دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و

زیست‌محیطی آب و آبفا

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

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی

امور نظام فنی و اجرایی کشور

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)



شماره:	۹۴/۳۷۴۸۲۴	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۹۴/۱۱/۲۷	

موضوع: دستورالعمل تعیین بازده آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷-هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۶۹۲ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان « **دستورالعمل تعیین بازده آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری** » از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۵/۰۴/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

  
 محمد باقر نوبخت





## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایراد و اشکال نیست.

از این‌رو، 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 امور 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 صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email: [info@nezamfanni.ir](mailto:info@nezamfanni.ir)

web: [nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)





## پیشگفتار

وضعیت انتقال، توزیع و تحویل آب به بهره‌برداران، نحوه‌ی کاربرد و حصول بازده پیش‌بینی شده آب آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور با گذشت دوره بهره‌برداری نیازمند مطالعه و بررسی است. بازده و بهره‌وری آب آبیاری در مطالعات آسیب‌شناسی ساختار فیزیکی و مدیریتی و تدوین راهکارهای ارتقای مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری و اولویت‌بندی مطالعات و اقدامات بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی قابل بهره‌گیری می‌باشد. روش‌ها، تجهیزات و زمان اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز در تعیین بازده و بهره‌وری آب آبیاری، متنوع بوده و ارائه رویه‌ای یکنواخت می‌تواند موجب سهولت و هماهنگی کار در سطح شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور شود و امکان بررسی و تحلیل شرایط بهره‌برداری و نگهداری را با وجود تفاوت‌های موجود در مشخصات فیزیکی و مدیریتی فراهم کند.

با توجه به اهمیت بحث فوق، امور آب و آبفای وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه «دستورالعمل تعیین بازده آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری» را با هماهنگی امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این سازمان ارسال نمود که پس از بررسی، براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی و اجرایی کشور (مصوب شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ- مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

بدین وسیله معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی از تلاش‌ها و جدیت رییس امور نظام فنی و اجرایی کشور جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و اجرایی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس تقی عبادی و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

زمستان ۱۳۹۴



## تهیه و کنترل «دستورالعمل تعیین بازده آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری»

[ضابطه شماره ۶۹۲]

مجری: شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس

مشاور پروژه: ژاله وزیری      شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس      فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی

### اعضای گروه تهیه‌کننده:

عباس آزاده	شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس	لیسانس مهندسی خاک‌شناسی
شهاب دانشور	شرکت مهندسی مشاور یکم	فوق‌لیسانس مهندسی عمران-آب
کامیار عباسی نصیرمحل	شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس	لیسانس مهندسی آبیاری و آبادانی
نیما نجفی	شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
ژاله وزیری	شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی

### اعضای گروه نظارت:

تیمور سهرابی	دانشکده کشاورزی-دانشگاه تهران	دکترای مهندسی آبیاری و آبادانی
فتح‌اله کبریتی	شرکت مهندسی مشاور آمایش آب‌محور	لیسانس مهندسی آبیاری و آبادانی
انسیه محرابی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	فوق‌لیسانس مهندسی سازه‌های آبی
محمدجواد منعم	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای مهندسی منابع آب

### اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی آبیاری و زهکشی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

سید اسداله اسدالهی	وزارت نیرو	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
عبدالحسین بهنام‌زاده	وزارت جهاد کشاورزی	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
محمدصادق جعفری	شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
مهرداد زریاب	شرکت پانیر	لیسانس مهندسی عمران
سیدمجتبی رضوی نبوی	وزارت نیرو	دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی
محمدکاظم سیاهی	شرکت مهندسی مشاور پندام	فوق‌لیسانس مهندسی عمران و مهندسی آبیاری و زهکشی

محمدحسن عبدالله شمشیرساز	شرکت مهندسی مشاور پژوهاب	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
انسیه محرابی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	فوق‌لیسانس مهندسی سازه‌های آبی



دکترای مهندسی ترویج کشاورزی

دکترای مهندسی منابع آب

فوق لیسانس مهندسی منابع آب

شرکت مهندسين آبيار نوآور صحرا

دانشگاه تربيت مدرس

شرکت مدیریت منابع آب ایران

احمد محسنی

محمدجواد منعم

مریم یوسفی

### اعضای گروه هدایت و راهبری سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور:

معاون امور نظام فنی و اجرایی

رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی

کارشناس آبیاری و زهکشی، امور نظام فنی و اجرایی

علیرضا توتونچی

فرزانه آقارمضانعلی

سید وحیدالدین رضوانی





## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۳	فصل اول - مفاهیم و تعاریف
۵	۱-۱- کلیات
۵	۱-۲- شبکه‌های آبیاری و زهکشی مدرن، نیمه‌مدرن و سنتی
۶	۱-۳- شبکه آبیاری
۷	۱-۴- شبکه زهکشی
۹	۱-۵- قطعه‌بندی زمین در شبکه آبیاری و زهکشی
۱۰	۱-۶- سامانه کنترل، تنظیم و تحویل آب
۱۰	۱-۷- روش‌های توزیع و تحویل آب در شبکه اصلی آبیاری
۱۱	۱-۸- روش‌های توزیع و تحویل آب بین واحدهای مزرعه
۱۱	۱-۹- تعاریف
۱۳	فصل دوم - بازده آبیاری و بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی
۱۵	۲-۱- کلیات
۱۵	۲-۲- عوامل موثر بر بازده آبیاری در شبکه‌ها
۱۵	۲-۲-۱- عوامل موثر بر بازده انتقال و توزیع آب
۱۶	۲-۲-۲- عوامل موثر بر بازده کاربرد آب در مزرعه
۱۸	۲-۲-۳- عوامل موثر بر بازده سامانه آبیاری
۱۸	۲-۲-۴- عوامل موثر بر بازده کلی آبیاری
۱۸	۲-۲-۵- عوامل موثر بر بازده بهره‌برداری
۱۹	۲-۲-۶- عوامل موثر بر بهره‌وری آب
۲۰	۲-۳- محاسبه بازده آبیاری و بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی
۲۰	۲-۳-۱- بازده انتقال آب
۲۰	۲-۳-۲- بازده توزیع آب
۲۱	۲-۳-۳- بازده کاربرد آب در مزرعه
۲۲	۲-۳-۴- بازده سامانه آبیاری
۲۳	۲-۳-۵- بازده کلی آبیاری



## فهرست مطالب

### عنوان

### صفحه

۲۳	۲-۳-۶- بازده بهره‌برداری
۲۴	۲-۳-۷- بهره‌وری آب
۲۵	۲-۴- برآورد بازده آبیاری به روش شبیه‌سازی
۲۷	فصل سوم- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری
۲۹	۳-۱- کلیات
۳۰	۳-۲- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی
۳۰	۳-۲-۱- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی
۳۰	۳-۲-۲- ملاحظات کلی انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی
۳۲	۳-۲-۳- انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی
۳۴	۳-۲-۴- ملاحظات به‌کارگیری تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی
۳۸	۳-۲-۵- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های تحت فشار
۳۹	۳-۲-۶- ملاحظات کلی انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های تحت فشار
۴۰	۳-۲-۷- انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های تحت فشار
۴۱	۳-۲-۸- ملاحظات به‌کارگیری تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های تحت فشار
۴۲	۳-۳- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری خصوصیات آب و خاک مرتبط با بازده آبیاری
۴۳	۳-۳-۱- خصوصیات فیزیکی خاک
۴۴	۳-۳-۲- خصوصیات شیمیایی خاک
۴۴	۳-۳-۳- خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب
۴۴	۳-۳-۴- انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک
۴۷	۳-۳-۵- ملاحظات به‌کارگیری تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک
۴۹	۳-۴- واسنجی و صحت‌سنجی تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری
۵۰	۳-۵- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب زیرزمینی
۵۱	۳-۶- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب مورد نیاز گیاهان
۵۱	۳-۷- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری عملکرد محصول گیاهان
۵۱	۳-۷-۱- اندازه‌گیری عملکرد محصولات زراعی
۵۲	۳-۷-۲- اندازه‌گیری عملکرد محصولات باغی



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۲	۳-۷-۳- اندازه‌گیری عملکرد گیاهان ردیفی
۵۳	۳-۷-۴- اندازه‌گیری ضایعات ریزش محصول در هنگام برداشت
۵۳	۳-۸- تعیین عمق توسعه ریشه گیاهان
۵۳	۳-۹- تعیین سطح کشت محصولات تحت پوشش شبکه
۵۴	۳-۱۰- تعیین آب آبتوی در شبکه
۵۴	۳-۱۱- برآورد میزان نشت در نهرها و کانال‌ها
۵۵	فصل چهارم- شبکه اندازه‌گیری
۵۷	۴-۱- کلیات
۵۷	۴-۲- اهمیت و ضرورت تعیین شبکه اندازه‌گیری
۵۷	۴-۳- ضوابط و معیارهای انتخاب شبکه اندازه‌گیری
۵۸	۴-۴- دسته‌بندی نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری
۵۹	۴-۴-۱- نقاط ورودی و خروجی آب در شبکه
۶۱	۴-۴-۲- انتخاب نقاط و بازه‌های نمونه در شبکه اصلی آبیاری برای تعیین بازده انتقال
۶۶	۴-۴-۳- انتخاب نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری در شبکه فرعی آبیاری برای تعیین بازده توزیع
۶۷	۴-۴-۴- انتخاب نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری در تعیین بازده بهره‌برداری
۶۸	۴-۴-۵- انتخاب مزارع نمونه در تعیین بازده کاربرد آب
۷۲	۴-۵- محاسبه تعداد کل مزارع نمونه در تعیین بازده کاربرد آب شبکه
۷۳	۴-۶- برنامه زمانی تعیین بازده کلی آبیاری در شبکه
۷۳	۴-۶-۱- برنامه زمانی تعیین بازده انتقال و بازده توزیع آب در شبکه
۷۳	۴-۶-۲- برنامه زمانی تعیین بازده کاربرد آب
۷۴	۴-۷- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده آبیاری شبکه‌های آبیاری و زهکشی
۷۵	۴-۷-۱- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده انتقال و توزیع در شبکه
۸۲	۴-۷-۲- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده کاربرد آب در شبکه
۸۳	۴-۷-۳- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده کلی آبیاری در شبکه
۸۳	۴-۷-۴- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده بهره‌برداری در شبکه
۸۳	۴-۷-۵- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بهره‌وری آب در شبکه

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۵	۸-۴- مراحل عملیات اندازه‌گیری و کنترل
۸۷	پیوست ۱- کاربرگ‌های قابل استفاده در تعیین بازده آبیاری
۹۵	منابع و مراجع

## فهرست جدول‌ها و کاربرگ‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶۱	جدول ۴-۱- بازه‌های قابل انتخاب برای اندازه‌گیری جریان آب ورودی و خروجی در هر دو شبکه اصلی و فرعی آبیاری
۶۵	جدول ۴-۲- بازه‌های قابل انتخاب برای اندازه‌گیری جریان آب ورودی و خروجی در شبکه اصلی آبیاری
۶۷	جدول ۴-۳- بازه‌های قابل انتخاب برای اندازه‌گیری جریان آب ورودی و خروجی در شبکه فرعی آبیاری
۷۱	جدول ۴-۴- ارزیابی کیفیت آب از نظر محدودیت آبیاری به روش‌های سطحی
۷۲	جدول ۴-۵- ارزیابی کیفیت آب از نظر گرفتگی بالقوه گسیلنده‌ها در سامانه‌های آبیاری موضعی
۸۲	جدول ۴-۶- مثالی از نحوه‌ی تعیین بازده کاربرد آب در شبکه آبیاری و زهکشی
۸۹	کاربرگ ۱- اندازه‌گیری و محاسبه میزان نشت در طول شبکه انتقال و توزیع آب در یک دوره بهره‌برداری از شبکه
۹۰	کاربرگ ۲- اندازه‌گیری و محاسبه میزان نشت در سازه‌های همسان در یک دوره بهره‌برداری از شبکه
۹۱	کاربرگ ۳- اندازه‌گیری و محاسبه میزان نشت در سازه‌های غیرهمسان در یک دوره بهره‌برداری از شبکه
۹۲	کاربرگ ۴- اندازه‌گیری و محاسبه میزان نشت در مخازن ذخیره‌ای در یک دوره بهره‌برداری از شبکه
۹۳	کاربرگ ۵- اندازه‌گیری و محاسبه میزان تبخیر از سطوح تبخیر در یک دوره بهره‌برداری از شبکه
۹۴	کاربرگ ۶- اندازه‌گیری و محاسبه بازده کاربرد آب در مزارع تحت پوشش شبکه

## فهرست نمودارها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷۰	نمودار ۴-۱- طبقه‌بندی روش‌های آبیاری در انتخاب مزارع نمونه برای تعیین بازده کاربرد آب
۷۲	نمودار ۴-۲- عوامل موثر در انتخاب مزارع نمونه برای تعیین بازده کاربرد آب





## مقدمه

بازده و بهره‌وری آب آبیاری شاخص‌هایی هستند که برای کمی نمودن مصرف مفید آب تامین شده برای اهداف آبیاری در یک قطعه زراعی، مزرعه یا شبکه آبیاری و زهکشی به کار می‌روند. بازده کلی آبیاری به صورت نسبت مقدار آب ذخیره شده در خاک (محدوده توسعه ریشه) به مقدار آب تامین شده و بهره‌وری آب (از دیدگاه فیزیکی) برحسب نسبت مقدار محصول به دست آمده به مقدار آب مصرفی برای تولید آن محصول تعریف می‌شود.

در شبکه آبیاری و زهکشی، حرکت آب از منبع تا محل مصرف را می‌توان تحت سه فرآیند جداگانه انتقال، توزیع و کاربرد در مزرعه بررسی کرد. در این سه فرآیند، بخشی از آب به صورت‌های مختلف از جمله نشت در کانال‌ها یا لوله‌های انتقال و توزیع، تبخیر سطحی، فرونشست (نفوذ عمقی) به پایین محدوده توسعه ریشه گیاهان، مصرف توسط گیاهان غیرزراعی، سرریز شدن و نشت در کانال‌ها، سازه‌ها و تجهیزات و تحویل مازاد بر برنامه از دسترس بهره‌بردار شبکه آبیاری خارج شده و بنابراین، به طور مستقیم قابل استفاده بهره‌بردار نمی‌باشد و یا به لحاظ زمانی و مکانی شرایط تحویل عادلانه آب را مختل می‌نماید. بازیافت و استفاده مجدد این بخش از آب نیازمند تاسیسات و تجهیزات مناسب می‌باشد.

بازده کلی آبیاری درصدی از آب تامین شده برای شبکه آبیاری و زهکشی را نشان می‌دهد که قابل استفاده محصولات می‌باشد و بهره‌وری آب در شبکه، عملکرد محصول به ازای هر واحد آب مصرفی را مشخص می‌کند. این شاخص‌ها برای اولویت‌بندی مطالعات و اقدامات بهسازی در ارتقای مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌ها قابل بهره‌گیری می‌باشند.

این دستورالعمل رویه‌ای را برای تعیین بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد و بهره‌برداری و همچنین بهره‌وری آب آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری ارائه می‌کند و در آن، روش‌ها و تجهیزات مناسب برای اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز و نیز روابط محاسباتی مربوطه بیان شده است.

روش‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز تعیین بازده آبیاری و بهره‌وری آب با توجه به منابع آب، ویژگی‌های فیزیکی و مدیریت بهره‌برداری شبکه‌ها، دقت کار، دانش فنی، توانمندی بهره‌برداران، دسترسی و سهولت به‌کارگیری، انتخاب شده‌اند.

برای جمع‌آوری فراگیر و منظم داده‌ها، نحوه‌ی انتخاب نقاط اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز بیان شده است. این انتخاب براساس ویژگی‌ها و مدیریت بهره‌برداری شبکه، روش‌های آبیاری، خصوصیات خاک، آب و گیاه و ترکیب کشت محصولات صورت گرفته و شبکه زمان اندازه‌گیری‌ها نیز متناسب با تغییر برنامه تحویل آب و آبیاری مشخص شده است.

گرچه، بازده آبیاری و بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری و زهکشی ممکن است در مطالعات منابع و مصارف آب در سطح حوضه‌ها نیز کاربرد داشته باشند، ولی این دستورالعمل به تعیین بازده آبیاری و بهره‌وری آب در این مقیاس نمی‌پردازد. مصرف‌کنندگان آب در سطح حوضه‌ها متنوع‌تر هستند و می‌توانند بخش‌های صنعت، شرب و بهداشت، محیط زیست و کشاورزی فراتر از محدوده شبکه‌های آبیاری و زهکشی را شامل شوند.



در مقیاس حوضه‌ای، آبی که در بالادست از دسترس مصرف‌کنندگان خارج می‌شود، ممکن است حبابه مصرف‌کنندگان پایین دست را تشکیل دهد و مورد استفاده مجدد قرار گیرد. بازده و بهره‌وری آب در سطح حوضه تابع تمامی مولفه‌های آب ورودی و خروجی هستند و این مولفه‌ها باید در مطالعات مربوط به موازنه آب در نظر گرفته شوند. بازده آبیاری به عنوان یک شاخص در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی نیز کاربرد دارد، ولی روش استفاده از این شاخص در مطالعات فوق در دامنه کار این دستورالعمل قرار ندارد و ارائه نمی‌شود.

#### - هدف

هدف از تهیه این دستورالعمل ایجاد هماهنگی در انتخاب روش و تجهیزات مورد نیاز تعیین بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد و بهره‌برداری و نیز بهره‌وری آب آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری می‌باشد. با به‌کارگیری این دستورالعمل، بازده و بهره‌وری آب آبیاری در این شبکه‌ها با روشی یکسان تعیین شده و قابل بررسی و تحلیل خواهند بود.

اطلاعات بازده آبیاری و بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی برای بررسی وضع موجود بهره‌برداری در مقایسه با مبنای طراحی و اهداف طرح آبیاری و به عنوان مستندات برای بازنگری و ارتقای مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌ها قابل بهره‌گیری می‌باشند.

#### - دامنه کاربرد

این دستورالعمل رویه‌ای را برای تعیین بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد، بهره‌برداری و بهره‌وری آب آبیاری در انواع شبکه‌های آبیاری و زهکشی با جریان آزاد (ثقلی) و تحت فشار ارائه می‌دهد. بازده آبیاری و بهره‌وری آب که به روش پیشنهادی این دستورالعمل تعیین می‌شود، در بررسی وضع موجود و بازنگری برنامه بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی کاربرد دارد و با استفاده از این اطلاعات می‌توان مطالعات و اقدامات بهسازی شبکه‌ها را اولویت‌بندی کرد. در این دستورالعمل، نحوه‌ی انتخاب بازده‌ها و نقاط معرف برای اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز و روش تعمیم این عوامل به تعیین بازده و بهره‌وری کلی آب آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری برای جامع‌ترین وضعیت پیشنهاد شده است. بر مبنای اهداف مطالعه و دقت مورد نظر، کاربران می‌توانند شبکه اندازه‌گیری مکانی و زمانی عوامل مورد نیاز را متناسب با منابع و روش‌های انتقال، توزیع، تحویل و کاربرد آب، مشخصات فیزیکی و مدیریت بهره‌برداری و نگهداری، ترکیب و مراحل رشد محصولات کشت شده و ویژگی‌های خاک، زمین و آب انتخاب کنند.





# فصل ۱

---

---

## مفاهیم و تعاریف





## ۱-۱- کلیات

به منظور ایجاد هماهنگی بین کاربران این دستورالعمل در کاربرد مفاهیم مشترک برای تعیین بازده آبیاری<sup>۱</sup> و بهره‌وری آب<sup>۲</sup> در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری، مفاهیم و تعاریف مورد نظر این دستورالعمل به اختصار بیان می‌شود.

## ۱-۲- شبکه‌های آبیاری و زهکشی مدرن، نیمه‌مدرن و سنتی

به موجب تعاریف دفتر بهره‌برداری از تاسیسات انتقال و توزیع آب (معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت مدیریت منابع آب ایران)، انواع شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور به صورت زیر تعریف می‌شوند<sup>۳</sup>:

الف- شبکه آبیاری و زهکشی مدرن: به مجموعه‌ای از تاسیسات آبیاری گفته می‌شود که از امکانات و قابلیت‌های منابع آب مطمئن (سد مخزنی یا رودخانه با بده جریان پایه کافی) برخوردار و دارای تاسیسات آبیگر (سد مخزنی، سد انحرافی یا ایستگاه پمپاژ) و کانال‌های اصلی، درجه یک و دو باشد.

ب- شبکه آبیاری و زهکشی نیمه‌مدرن: به مجموعه‌ای از تاسیسات آبیاری گفته می‌شود که حداقل دارای یکی از مجموعه امکانات و قابلیت‌های زیر باشد:

- تاسیسات انحراف آب بر روی رودخانه با بده جریان پایه مطمئن، همراه با کانال اصلی انتقال آب
- مجموعه انهار سنتی در پایین دست (آب‌خور) سد مخزنی

ج- شبکه آبیاری و زهکشی سنتی: به مجموعه‌ای از انهار سنتی اطلاق می‌شود که در محدوده یک شهر/آبادی/صحرا از یک یا چند رودخانه از طریق دهانه آبیگر سنتی (به صورت انحراف از نهر) و یا از آب‌بندان و یا تالاب آب برداشت می‌کنند.

تبصره: به هر شبکه آبیاری (اعم از مدرن، نیمه‌مدرن و یا سنتی) که آب آن هم‌زمان و به طور مشترک از منابع آب سطحی و منابع آب زیرزمینی تامین شده، شبکه آبیاری تلفیقی اطلاق می‌شود. بنابراین یک شبکه آبیاری (مدرن، نیمه‌مدرن و سنتی) می‌تواند تلفیقی نیز باشد.

### 1- Irrigation Efficiency

- منظور از بازده آبیاری همان راندمان آبیاری است. از آن جا که «راندمان» واژه‌ای فرانسوی می‌باشد، در این دستورالعمل از معادل فارسی یعنی «بازده» استفاده شده است.

### 2- Water Productivity

۳- براساس اطلاعات دریافت شده از دفتر بهره‌برداری از تاسیسات انتقال و توزیع آب شرکت مدیریت منابع آب ایران



### ۳-۱- شبکه آبیاری

شبکه آبیاری به مجموعه مجاری (کانال، فلوم و غیره) و سازه‌های هیدرولیکی گفته می‌شود که برای انتقال، توزیع و تحویل آب احداث می‌شود [۱۲، ۱۸، ۲۶ و ۲۸]. در آیین‌نامه اجرایی نحوه مصرف آب کشاورزی، شبکه آبیاری به اصلی و فرعی تفکیک شده که به ترتیب تحت مسوولیت وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی است [۱]. شبکه اصلی آبیاری نقش انتقال و تحویل آب تا آبگیرهای مزرعه و شبکه فرعی آبیاری نقش توزیع آب در داخل واحدهای مزرعه و تحویل به مصرف‌کنندگان را بر عهده دارد [۱۲، ۱۸ و ۲۸].

شبکه‌های اصلی آبیاری به دو صورت با جریان آزاد (در مجاری روباز یا سرپوشیده که شبکه اصلی آبیاری ثقلی گفته می‌شود)، و یا تحت فشار (در خطوط لوله) اجرا می‌شود. شبکه اصلی آبیاری ثقلی به طور معمول شامل کانال‌های درجه یک و دو و سازه‌های هیدرولیکی و تجهیزات مورد نیاز می‌باشد [۱۲، ۱۸ و ۲۸]. کانال‌های درجه یک آب را از منبع دریافت می‌کنند و به کانال‌های درجه دو تحویل می‌دهند. بنابراین کانال‌های درجه دو به طور معمول از کانال‌های درجه یک منشعب می‌شوند. در برخی شبکه‌ها برحسب ضرورت کانال آبرسان (تغذیه‌کننده)<sup>۱</sup> طراحی می‌شود. این کانال از دهانه آبگیر اصلی شروع می‌شود و تا اولین انشعاب ادامه دارد<sup>۲</sup> [۱۲، ۱۸ و ۲۸]. سازه‌های هیدرولیکی مجموعه سازه‌هایی است که برای انتقال جریان، کنترل و تنظیم سطح آب، آگیری و حفاظت شبکه مورد نیاز است [۱۸]. شبکه اصلی آبیاری تحت فشار (با فشار حداکثر ۱۰ متر آب در سامانه‌های کم‌فشار و بیش‌تر از ۱۰ متر برای سامانه‌های پرفشار) شامل لوله‌های درجه یک و دو است که نقشی مشابه کانال‌های درجه یک و دو دارند [۸، ۲۰]. در مسیر انتقال جریان آب در شبکه‌های تحت‌فشار از سازه‌های هیدرولیکی متناسب با شبکه استفاده می‌شود.

شبکه‌های فرعی آبیاری نیز به دو صورت با جریان آزاد (شبکه فرعی آبیاری ثقلی گفته می‌شود)، و یا تحت فشار اجرا می‌شوند. شبکه فرعی آبیاری ثقلی به طور معمول متشکل از کانال‌های درجه سه<sup>۳</sup> (توزیع‌کننده) و درجه چهار (مزرعه) و سازه‌های هیدرولیکی متناسب با شبکه می‌باشد [۱۲، ۸، ۱۸]. کانال درجه سه از کانال درجه دو شروع می‌شود و کانال‌های درجه چهار را تغذیه می‌کند. کانال درجه چهار آب را مستقیم به قطعات زراعی تحت آبیاری تحویل می‌دهد [۱۲، ۱۸ و ۲۸]. شبکه فرعی تحت فشار در سامانه بارانی به طور معمول شامل خط لوله اصلی، نیمه اصلی، بال آبیاری و آبپاش‌ها و در سامانه موضعی شامل لوله اصلی، نیمه اصلی، رابط (لترال)، آبد (مانیفولد) و گسیلنده‌ها است [۲۱ و ۲۲].

#### 1- Main Feeder Canal (M.F.C.)

۲- علاوه بر کانال‌های گفته شده گاه برحسب آرایش شبکه آبیاری، کانال‌هایی تحت عنوان رابط بین دو کانال اجرا می‌شوند که از نظر ظرفیت می‌توانند مشابه کانال‌های درجه یک و دو و ارتباط‌دهنده دو کانال متوالی یا بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین کانال بنابر ضرورت باشند.

#### 3- Tertiary Canals



#### ۴-۱- شبکه زهکشی

شبکه زهکشی برای جمع‌آوری رواناب (آبیاری و بارندگی) و یا کنترل سطح آب زیرزمینی احداث می‌شود [۱۸]. شبکه زهکشی باتوجه به روش احداث، نحوه جمع‌آوری و کنترل آب مازاد سطحی و یا زیرزمینی و نیز موقعیت و عملکرد به‌صورت‌های مختلف تقسیم می‌شود [۱۲].

#### الف- زهکش‌های سطحی

مجموعه مجاری روبازی می‌باشد که هرزآب آبیاری و رواناب حاصل از رگبارها را در شبکه آبیاری جمع‌آوری، هدایت و تخلیه می‌کند و جزیی از شبکه آبیاری می‌باشد [۱۸]. شبکه زهکش سطحی شامل اجزای زیر است:

#### - زهکش درجه چهار

زهکش‌های درجه چهار به مجاری روبازی گفته می‌شود که رواناب ناشی از بارندگی و یا مازاد آبیاری در قطعات زراعی تحت پوشش کانال درجه چهار را جمع‌آوری و به زهکش درجه سه تخلیه می‌کنند [۱۲، ۱۸ و ۲۸].

#### - زهکش درجه سه

زهکش‌های درجه سه به مجاری روبازی گفته می‌شود که در پایین‌دست اراضی تحت پوشش کانال‌های درجه سه آبیاری طراحی می‌شوند و به‌طور معمول زهکش‌های درجه چهار به آن‌ها تخلیه می‌شوند [۱۲ و ۱۸].

#### - زهکش درجه دو

زهکش‌های درجه دو به مجاری روبازی گفته می‌شود که در پایین‌دست زمین‌های زیر پوشش کانال‌های درجه دو آبیاری طراحی می‌شوند و زهکش‌های درجه سه به آن‌ها تخلیه می‌شوند [۱۲ و ۱۸].

#### - زهکش درجه یک

زهکش‌های درجه یک به مجاری روبازی گفته می‌شود که آب زهکش‌های درجه دو را جمع‌آوری و به زهکش‌های طبیعی یا زهکش‌های اصلی ساخته شده تخلیه می‌کنند [۱۲، ۱۸].

#### - زهکش اصلی

زهکش‌های اصلی به مجاری روباز ساخته شده و یا مسیل‌های طبیعی گفته می‌شود که به‌طور معمول آب زهکش‌های درجه یک، دو و یا در پاره‌ای موارد به‌طور مستقیم آب زهکش‌های مزارع به آن تخلیه و به خروجی نهایی<sup>۱</sup>

1- End (main) Outlet



هدایت می‌شود [۱۲، ۱۸].

#### - خروجی نهایی

خروجی نهایی در شبکه زهکشی، مسیل، رودخانه، مرداب یا دریاچه‌ای است که زهکش‌های اصلی طرح به آن تخلیه می‌شوند [۱۲، ۱۸].

#### ب- زهکش‌های عمقی

##### ۱- زهکش‌های موازی<sup>۱</sup>

زهکش‌های روباز یا روبسته‌ای هستند که در عمق و فاصله لازم به منظور کنترل سطح آب زیرزمینی و برای مناطقی احداث می‌شوند که منبع تغذیه آن‌ها نفوذ عمقی آب حاصل از بارندگی و آبیاری است و شیب سطح سفره آب زیرزمینی امکان جریان آب زیرزمینی را به اندازه کافی فراهم نمی‌کند [۱۲، ۱۸ و ۲۸].

##### ۲- زهکش حائل<sup>۲</sup>

زهکش‌های روباز یا بسته‌ای هستند که به طور معمول عمود بر جهت جریان آب زیرزمینی و به منظور جلوگیری از ورود آب سفره‌های سطحی به مناطق پست احداث می‌شوند [۱۲، ۱۸ و ۲۸].

##### ۳- زهکش جمع‌کننده<sup>۳</sup>

زهکش‌های روباز یا بسته‌ای هستند که جریان زهکش‌های جانبی (فرعی) زیرزمینی یا زهکش‌های حائل را جمع‌آوری و به زهکش درجه دو، زهکش درجه یک و یا زهکش اصلی تخلیه می‌کنند. زهکش‌های جمع‌کننده روباز می‌توانند هرزآب‌های سطحی را نیز دریافت کنند و به خروجی انتقال دهند [۱۲، ۱۸ و ۲۸].

##### ۴- زهکش فرعی (جانبی) زیرزمینی<sup>۴</sup>

زهکش‌هایی هستند که به طور مستقیم آب اضافی داخل مزرعه را جمع‌آوری و به زهکش‌های جمع‌کننده تخلیه می‌کنند. به طور معمول این زهکش‌ها به صورت لوله‌های زیرزمینی طراحی می‌شوند [۱۲، ۱۸ و ۲۸].

- 1- Relief Drain
- 2- Interceptor Drain
- 3- Collector Drain
- 4- Lateral Drain



### ۱-۵ - قطعه‌بندی زمین در شبکه آبیاری و زهکشی

نحوه‌ی قطعه‌بندی زمین‌های تحت پوشش شبکه‌های آبیاری و زهکشی در این‌جا آمده است. علاوه بر آن توصیه می‌گردد به تعاریف ارائه شده در گزارش‌های مطالعه و طراحی شبکه‌ها توجه و تعاریف مربوطه در صورت نیاز به نحوی تطبیق داده شود که بازده‌های آبیاری در شبکه با بهره‌گیری از این دستورالعمل قابل تعیین باشد.

#### - قطعه آبیاری

قطعه آبیاری مساحتی از قطعه زراعی است که به طور هم‌زمان آبیاری می‌شود و در آبیاری ثقلی شامل تعدادی کرت، نوار و جویچه است [۲۹]. قطعه آبیاری در سامانه بارانی، زمین‌های تحت پوشش یک بال آبیاری در یک نوبت آبیاری بارانی (در هر استقرار) و در سامانه موضعی، زمین‌های تحت پوشش یک لوله رابط می‌باشد [۲۱].

#### - قطعه زراعی

در شبکه ثقلی (بلوک) قطعه زراعی<sup>۱</sup> محدوده‌ای است که به وسیله کانال‌های درجه چهار یا لوله‌های دریچه‌دار توسط آبیاری، آبیاری می‌گردد [۸، ۱۲، ۱۸ و ۲۸]. در شبکه تحت فشار، قطعه زراعی به زمین‌های زیر پوشش یک بال آبیاری (در آبیاری بارانی) یا لوله نیمه‌اصلی (در آبیاری موضعی) در یک دور آبیاری گفته می‌شود [۲۱].

#### - مزرعه

در شبکه ثقلی، (واحد) مزرعه<sup>۲</sup> به محدوده‌ای گفته می‌شود که دارای آبگیر مستقل (آبگیر مزرعه) از کانال درجه دو و یا از کانال درجه یک است. کانال‌های آبیاری درجه سه و چهار آب را در این محدوده توزیع می‌کنند [۸، ۱۲ و ۱۸]. واحد مزرعه در شبکه تحت فشار به زمین‌های زیر پوشش یک خط لوله اصلی (لوله‌ای که آب را از آبگیر مزرعه و به لوله‌های نیمه اصلی یا بال آبیاری می‌رساند)، گفته می‌شود [۲۱].

1- Field Block  
2- Farm (Unit)



### ۱-۶- سامانه کنترل، تنظیم و تحویل آب

مجموعه تاسیسات، سازه‌ها و تجهیزات هیدرولیکی که برای قطع و وصل، تنظیم و تقسیم جریان و تحویل میزان آب تعیین شده در زمان مطلوب به کار می‌رود، سامانه کنترل، تنظیم و تحویل آب نامیده می‌شود [۳، ۱۶، ۱۹ و ۳۰]. سامانه‌های کنترل برحسب روش، نوع، موقعیت و عوامل کنترل طبقه‌بندی می‌شوند.

#### الف- طبقه‌بندی برحسب روش کنترل

در این طبقه‌بندی، سامانه‌های کنترل و تنظیم جریان برحسب شرایط کنترل به دو دسته کنترل سطح آب از بالادست و کنترل سطح آب از پایین دست تقسیم می‌شوند [۱۹ و ۳۰].

#### ب- طبقه‌بندی برحسب نوع کنترل

سامانه‌های کنترل و تنظیم جریان بر اساس نوع کنترل به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند [۱۹]:

- کنترل دستی
- کنترل خودکار
- کنترل ثابت

#### ج- طبقه‌بندی از لحاظ موقعیت مکانی سامانه کنترل

سامانه‌های کنترل و تنظیم جریان بر اساس موقعیت مکانی کنترل به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند [۱۹]:

- کنترل موضعی
- کنترل از دور
- کنترل مرکزی

#### د- طبقه‌بندی از لحاظ عوامل تحت کنترل

سامانه‌های کنترل و تنظیم جریان از لحاظ عوامل یا عناصر تحت کنترل به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند [۹، ۱۱ و ۲۳]:

- کنترل سطح آب
- کنترل بده جریان
- کنترل حجم جریان

### ۱-۷- روش‌های توزیع و تحویل آب در شبکه اصلی آبیاری

در حال حاضر تشکیلات بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی آب مورد نیاز آبران را از منابع آب دریافت و از طریق شبکه اصلی در محل آبرگیر مزارع به نمایندگان آبران و یا نمایندگان تشکل‌های آبر تحویل می‌دهند. روش‌های



توزیع و تحویل آب در شبکه اصلی با توجه به سه جزء اصلی تحویل یعنی تناوب (دور)، میزان<sup>۱</sup> و مدت تحویل<sup>۲</sup> به سه دسته اصلی گردشی (تناوبی)<sup>۳</sup>، براساس تقاضا<sup>۴</sup> و توافقی<sup>۵</sup> تقسیم شده‌اند [۱۶ و ۱۸].

### ۱-۸- روش‌های توزیع و تحویل آب بین واحدهای مزرعه

آب پس از دریافت از شبکه اصلی آبیاری، به وسیله شبکه فرعی (شبکه مزرعه) به آب‌بران گروهی یا منفرد تحویل می‌شود. روش‌های توزیع و تحویل آب در میان واحدهای مزرعه شامل سه دسته کلی زیر است [۱۸]:

#### - دائمی

در این روش آب به صورت دائم در شبکه فرعی جریان دارد (مشابه توزیع و تحویل آب در زراعت برنج).

#### - تناوبی

در این روش متناسب با زمان‌های دریافت از شبکه اصلی، آب به صورت متناوب (نوبتی) در شبکه فرعی توزیع و تحویل می‌شود.

#### - نسبی<sup>۶</sup>

در این روش، آب موجود با تقسیم به نسبت (متناسب با سهم هر کانال) تحویل می‌شود. به عبارتی نسبت آب تحویلی ثابت است ولی کل آب قابل تامین متناسب با سهم هر کانال تقسیم و تحویل می‌گردد.

### ۱-۹- تعاریف

تعاریف مورد استفاده در این دستورالعمل در ارتباط با بازده آبیاری و بهره‌وری آب به صورت زیر است [۸ و ۳۳]:

- انتقال آب: فرآیند حرکت آب از منبع تا ابتدای آبیگرهای مزرعه از طریق کانال‌های اصلی، درجه یک و دو در شبکه ثقلی یا از طریق خطوط لوله معادل این کانال‌ها در شبکه تحت فشار<sup>۷</sup>.

- 1- Rate
- 2- Duration
- 3- Rotational Delivery
- 4- On-Demand Delivery
- 5- Semi- Demand Delivery
- 6- Proportional Distribution

۷- براساس تعاریفی که کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی برای فرآیند و بازده انتقال ارائه نموده است [۸]، می‌توان شبکه اصلی را شبکه انتقال آب نامید.



- توزیع آب: فرآیند حرکت آب در کانال‌های درجه سه و چهار در شبکه ثقلی یا لوله‌های معادل این کانال‌ها در شبکه تحت فشار<sup>۱</sup> تا آبیگر قطعه زراعی.
- کاربرد آب در مزرعه: فرآیند حرکت آب از آبیگر قطعه زراعی تا محل مصرف جهت آبیاری محصولات (با روش‌های مختلف).
- آبیگر: ساختمانی است که آب را از شبکه اصلی یا فرعی منحرف و به شبکه کانال‌ها یا لوله‌هایی هدایت می‌کند که برداشت آب از آن مجاز است.
- نیاز آبی گیاه: نیاز آبی گیاه به صورت مقدار آب مورد نیاز تبخیر- تعرق گیاه جهت اجتناب از تنش آبی نامطلوب در فصل رشد و کاهش معنی‌دار عملکرد محصول تعریف می‌شود.
- ترکیب کشت سالانه: منظور از ترکیب (تراکم) کشت مجموع زمین‌های زیر کشت آبی محصولات مختلف (برحسب درصد) در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی برای یک سال زراعی است.
- بهره‌وری آب (از دیدگاه تولید محصول): نسبت مقدار محصول تولید شده به مقدار آب مصرفی برای تولید آن محصول.

۱- براساس تعاریفی که کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی برای فرآیند و بازده توزیع ارائه نموده است [۸]، می‌توان شبکه فرعی را شبکه توزیع آب نامید.



# فصل ۲

---

---

## بازده آبیاری و بهره‌وری آب در

## شبکه‌های آبیاری و زهکشی





## ۲-۱- کلیات

در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، بازده آبیاری تابع حرکت آب در طی فرآیندهای انتقال، توزیع، بهره‌برداری و کاربرد در مزرعه بوده و مقدار آن برحسب ساختار و وضعیت، نحوه‌ی مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری، به ویژه روش‌های انتقال، توزیع و تحویل آب و وضعیت نگهداری اجزای شبکه‌ها متفاوت است. بهره‌وری آب در شبکه علاوه بر مقدار آبیاری به میزان محصول به‌دست آمده، نیز بستگی دارد.

در این فصل به مواردی در فرآیندهای انتقال، توزیع و کاربرد آب در مزرعه اشاره می‌شود که به موجب آن بخشی از آب تامین شده از دسترس شبکه آبیاری و زهکشی خارج می‌شود و به طور مستقیم توسط بهره‌بردار قابل استفاده نخواهد بود. پس از آن، نحوه‌ی محاسبه و تعیین بازده آبیاری و بهره‌وری آب در شبکه‌های در حال بهره‌برداری آبیاری و زهکشی ارائه می‌شود.

## ۲-۲- عوامل موثر بر بازده آبیاری در شبکه‌ها

در شرایط معمول، بخشی از آب تامین شده برای شبکه آبیاری و زهکشی در طی فرآیند انتقال، توزیع، تحویل و کاربرد در مزرعه از دسترس خارج می‌شود و بازده آبیاری در شبکه را به کمتر از ۱۰۰ درصد کاهش می‌دهد [۳۵]. با پیش‌بینی‌های لازم (سازه‌ای و غیرسازه‌ای) مقداری از این آب قابل بازیافت و استفاده مجدد خواهد بود. در غیر این صورت، این آب به منابع سطحی یا زیرزمینی وارد شده و ممکن است در پایین‌دست شبکه مورد استفاده قرار گیرد. به‌هرحال، از دسترس خارج شدن این میزان آب حصول اهداف طرح آبیاری (همچون آبیاری سطح تحت پوشش، رعایت ترکیب کشت مورد نظر و دستیابی به درآمدهای پیش‌بینی شده) را با محدودیت زیاد روبرو می‌سازد.

### ۲-۲-۱- عوامل موثر بر بازده انتقال و توزیع آب

بازده انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری و زهکشی تابع میزان آب آبیاری است که در فرآیند انتقال و توزیع از دسترس شبکه خارج می‌شود. این میزان آب به عوامل متعدد از جمله روش انتقال و توزیع (کانال یا لوله)، نوع پوشش کانال یا جنس لوله، عمق، سرعت و مدت جریان، ظرفیت شبکه و وضعیت بهره‌برداری و نگهداری بستگی دارد. برحسب نوع شبکه آبیاری و زهکشی، آب در مسیر انتقال و توزیع ممکن است به‌صورت زیر از دسترس شبکه خارج شود:

#### الف- در شبکه ثقلی (جریان آزاد)

- نشت از (دیواره و کف) کانال‌ها و مخازن شبکه،
- تبخیر از سطح آزاد آب در کانال‌ها و مخازن به ویژه در مناطق گرم و خشک،
- نشت از محل درز و شکستگی کانال‌ها و مخازن،



- نشت از دریچه‌های ورودی و خروجی مخازن، سازه‌های انتقال، تجهیزات نصب شده در کانال‌ها همچون دریچه‌ها، تنظیم‌کننده‌ها<sup>۱</sup> و سایر سازه‌های شبکه،
- سرریز شدن آب از کانال‌ها در اثر افزایش سطح آب ناشی از رسوب‌گذاری در کانال و کاهش عمق و افزایش زبری کانال و غیره،
- مصرف توسط گیاهان غیرزراعی روییده در درون و یا حاشیه کانال‌ها،
- تخلیه ذخیره کانال در پایان فصل زراعی، و
- تخلیه مستقیم آب مازاد به زهکش‌ها.

#### ب- در شبکه تحت فشار:

- نشت ناشی از کارکرد شیرهای تخلیه هوا، کنترل فشار و کنترل ضربه قوچ،
- نشت در محل نصب تجهیزات (شیرآلات، اتصالات و متعلقات) سامانه،
- نشت در محل ایستگاه‌های پمپاژ شبکه،
- نشت از درز و شکست لوله‌ها یا مخازن ذخیره، و
- تبخیر از مخازن شبکه،
- نشت از تجهیزات کنترل مرکزی<sup>۲</sup>، و
- تخلیه ذخیره لوله‌ها در پایان فصل زراعی.

#### ۲-۲-۲- عوامل موثر بر بازده کاربرد آب در مزرعه

روش‌های آبیاری از جمله عوامل عمده‌ای هستند که بر بازده کاربرد آب در مزرعه موثر می‌باشند.

#### ۲-۲-۲-۱- آبیاری سطحی

در فرآیند کاربرد آب آبیاری در مزرعه به روش‌های سطحی، بخشی از آب می‌تواند به صورت‌های زیر از دسترس گیاه

خارج شود:

- تبخیر از سطح آب و از خاک خیس شده،
- رواناب انتهای مزرعه،

#### 1- Checks

۲- در سامانه آبیاری تحت فشار به مجموعه تجهیزاتی که قبل از ورود آب به لوله اصلی قرار گرفته و در مجموع در یک محل متمرکزند (همچون پمپ، سیکلون، فیلتر توری، فیلتر شنی، مخازن کود و سم و سایر اجزای آن)، تجهیزات کنترل مرکزی یا ایستگاه کنترل مرکزی می‌گویند.



- نفوذ عمقی ناشی از توزیع غیریکنواخت آب در مزرعه به دلایلی همچون تفاوت نوع و بافت خاک، عدم تسطیح مناسب زمین، وقوع بارندگی در زمان نامناسب، اعمال آبشویی و عدم طراحی و بهره‌برداری مناسب (عدم تسطیح، شیب‌بندی مناسب یا عدم انتخاب ابعاد و بده جریان مناسب برای کرت‌ها، نوارها، فاروها و...)،
- نشت جانبی<sup>۱</sup> به خارج محدوده توسعه ریشه گیاهان، و
- مصرف توسط علف‌های هرز.

#### ۲-۲-۲-۲- آبیاری بارانی

در فرآیند کاربرد آب آبیاری به روش بارانی، بخشی از آب تامین شده ممکن است به صورت‌های زیر از دسترس خارج شود:

- نفوذ عمقی و رواناب ناشی از طراحی، تنظیم یا بهره‌برداری نامناسب سامانه،
- مصرف آب توسط علف‌های هرز،
- تبخیر از سطح خاک یا گیاه،
- بادبردگی، و
- نشت از محل شکست و خرابی لوله‌ها، اتصالات و متعلقات.

#### ۲-۲-۲-۳- آبیاری موضعی

در فرآیند کاربرد آب به روش آبیاری موضعی با انواع گسیلنده‌ها همچون قطره‌چکان، افشانه (اسپریر<sup>۲</sup>)، حباب‌ساز

(بابلرها<sup>۳</sup>)، ریزپاش (میکروجت<sup>۴</sup>) و لوله آبیاری (تراوا<sup>۵</sup>) بخشی از آب به صورت‌های زیر از دسترس خارج می‌شود:

- نفوذ عمقی و رواناب به ویژه در زمین‌های شیب‌دار ناشی از طراحی، تنظیم و بهره‌برداری نامناسب سامانه،
- نشت به دلیل وضعیت و کارکرد نامناسب تجهیزات کنترل مرکزی،
- نشت از محل شکستگی و خرابی لوله‌ها،
- نشت از اتصالات، متعلقات، گسیلنده‌ها و سایر اجزای مشابه در شبکه، و
- تبخیر سطحی در انواع سامانه‌های ریزپاش‌ها و حباب‌سازها.

- 1- Lateral Seepage or Interflow
- 2- Spray
- 3- Bubbler
- 4- Microjet
- 5- Tape



### ۲-۲-۳- عوامل موثر بر بازده سامانه آبیاری

بازده سامانه آبیاری درصدی از کل آب منحرف یا برداشت شده (پمپاژ) از منابع آب است که پس از انتقال و توزیع برای کاربرد در مزرعه قابل تحویل به آب‌بران شبکه می‌باشد. عواملی که بر فرآیند و بازده انتقال و توزیع موثر هستند بر بازده سامانه آبیاری نیز تاثیرگذار می‌باشند. عوامل عمده موثر بر بازده انتقال و توزیع در بند ۲-۲-۱ ارائه شده است.

### ۲-۲-۴- عوامل موثر بر بازده کلی آبیاری

بازده کلی آبیاری در شبکه که به آن بازده طرح آبیاری نیز گفته می‌شود، درصدی از کل آب منحرف یا برداشت شده (پمپاژ) از منابع آب است که برای اهداف طرح قابل استفاده می‌باشد. مجموعه عوامل موثر بر فرآیند و بازده‌های انتقال، توزیع و کاربرد آب در مزرعه بر بازده کلی آبیاری در شبکه موثر می‌باشند. عوامل عمده موثر بر اجزای بازده طرح آبیاری در بندهای ۲-۲-۱ و ۲-۲-۲ ارائه شده است.

### ۲-۲-۵- عوامل موثر بر بازده بهره‌برداری

مدیریت بهره‌برداری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی شامل فعالیت‌های مورد نیاز تحویل آب به آب‌بران در زمان و مکان و به میزان مناسب (طبق برنامه) می‌باشد [۳۹]. تحویل آب به مزارع به دلایل مختلف ممکن است متفاوت از برنامه پیش‌بینی شده باشد. بنابراین بازده بهره‌برداری در شبکه آبیاری تابع کل میزان آب است که مازاد بر تقاضا (در غیر زمان، مکان و میزان برنامه‌ریزی شده) به آبخیز مزارع (نقاط تحویل) تحویل شود یا به دلایل مختلف از جمله تنظیم نامناسب آب‌بندها و سرریز شدن از کانال‌ها و سازه‌ها در طی بهره‌برداری شبکه از دسترس مستقیم خارج گردد [۳۹ و ۴۰]. میزان آبی که به دلیل نوسان‌های جریان بیش‌تر از ظرفیت کانال در بازه مورد نظر قابل استفاده نخواهد بود، به عوامل زیر بستگی دارد:

- وسعت زمین‌های تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی،
  - آرایش و ساختار فیزیکی شبکه آبیاری و زهکشی (به شکل کانال، فلوم و غیره) و آبخیزهای مزارع،
  - چگونگی ارتباطات مابین عوامل تشکیلات بهره‌برداری و توزیع آب،
  - روش و طول دوره توزیع آب،
  - تعداد و مهارت کارکنان توزیع و آب‌بران، و
  - سازه‌های کنترل و تنظیم سطح آب (کنترل دستی در مقابل کنترل خودکار همچون استفاده از سازه‌های آبخیز مجهز به دریچه‌های هیدرومکانیک).
- بازده بهره‌برداری در سامانه‌های آبیاری تحت فشار و کم‌فشار به آب از دست‌رفته‌ای بستگی دارد که در زمان آب‌اندازی و برقراری جریان در لوله‌ها از محل خروجی‌ها و تخلیه‌گاه‌های سامانه خارج می‌شود و تابع عوامل زیر است:
- طول لوله و انشعاب،



– ابعاد قطعات و مزارع،

– تعداد و موقعیت شیرهای تخلیه‌کننده‌ی آب، و

– نوع سامانه آبیاری (بارانی، موضعی، کم‌فشار).

از آنجا که موقعیت و زمان سرریز شدن آب از سازه‌های سرریز غیرقابل پیش‌بینی است و به طور معمول امکانات و تجهیزات مناسب اندازه‌گیری و تعیین حجم آب سرریز شده در شبکه آبیاری وجود ندارد، در صورت ناچیز بودن مدت سرریز شدن آب یا میزان آب سرریز شده، از تاثیر آن در بازده بهره‌برداری صرف‌نظر می‌شود. در غیر این صورت با توجه به سوابق امر و تجارب بهره‌برداری و گروه عملیاتی شبکه یا تغییرات جریان در زهکش‌های متصل به سرریز، حجم یا درصدی از بده جریان به عنوان تخمینی از میزان آب سرریز شده در نظر گرفته می‌شود.

## ۲-۲-۶- عوامل موثر بر بهره‌وری آب

بهره‌وری آب از دیدگاه فیزیکی (عملکرد کل، دانه و ...) و دیدگاه‌های اقتصادی- اجتماعی (درآمد، اشتغال، رژیم غذایی، رفاه اجتماعی و...) تعریف می‌شود [۳۳]. در این دستورالعمل بهره‌وری آب از دیدگاه فیزیکی مورد نظر بوده و به صورت نسبت مقدار محصول به مقدار آب مصرف شده، مشخص می‌گردد. عوامل موثر بر بهره‌وری آب تابع عوامل اثرگذار بر مقدار محصول تولیدی و آب مصرفی بوده و به طور عمده شامل موارد زیر است:

– شرایط اقلیمی به‌ویژه مقدار و زمان بارندگی موثر،

– برنامه‌ریزی (مقدار، دور و طول مدت) آبیاری،

– روش آبیاری،

– کیفیت آب آبیاری (شوری، اسیدیتته، وجود ترکیباتی همچون نیترات‌ها و فسفات‌ها و...)،

– خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی (بیولوژیکی) خاک،

– برنامه‌ریزی (نوع، مقدار، زمان و روش کاربرد) کودهای مصرفی،

– نحوه‌ی مبارزه با علف‌های هرز، آفت‌ها و بیماری‌های گیاهی،

– نوع محصول،

– رقم و کیفیت بذر، و

– تجربه و مهارت کشاورزان.



## ۲-۳- محاسبه بازده آبیاری و بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی

### ۲-۳-۱- بازده انتقال آب

بازده انتقال<sup>۱</sup> آب آبیاری عبارت از بازده حرکت آب در مجاری آب از آبگیر (یا آبگیرهای) اصلی تا آبگیرهای شبکه فرعی آبیاری (که شبکه توزیع آب نیز نامیده می‌شود)، است. این بازده با استفاده از رابطه موازنه جریان آب ورودی و آب خروجی در شبکه اصلی طی دوره معین به صورت رابطه (۲-۱) محاسبه می‌شود [۸].

$$E_c = \frac{V_d + V_2}{V_c + V_1} \times 100 \quad (1-2)$$

که در آن:

$E_c$  = بازده انتقال آب (درصد)،

$V_d$  = حجم آب تحویل شده از شبکه انتقال به شبکه فرعی در نقاط تحویل<sup>۲</sup> (مترمکعب)،

$V_2$  = حجم آب تحویل شده برای مصارف غیرآبیاری از طریق شبکه اصلی (مترمکعب)،

$V_c$  = حجم آب انحرافی یا برداشت شده (پمپاژ) از رودخانه (مترمکعب)، و

$V_1$  = حجم آب ورودی از سایر منابع به شبکه اصلی (مترمکعب)، می‌باشد.

عوامل فوق در یک دوره معین (از یک نوبت تا یک فصل آبیاری) اندازه‌گیری یا برآورد و در نظر گرفته می‌شود.

### ۲-۳-۲- بازده توزیع آب

بازده حرکت آب در مجاری شبکه فرعی تا ابتدای قطعات زراعی، بازده توزیع<sup>۳</sup> گفته می‌شود. این بازده بر پایه رابطه موازنه جریان آب ورودی و آب خروجی در شبکه فرعی (شبکه توزیع) برای یک دوره معین به صورت رابطه (۲-۲) محاسبه می‌شود [۸].

$$E_d = \frac{V_f + V_3}{V_d + V_4} \times 100 \quad (2-2)$$

که در آن:

$E_d$  = بازده توزیع آب (درصد)،

$V_f$  = حجم آب تحویلی به قطعات زراعی از طریق شبکه فرعی (مترمکعب)،

1- Conveyance Efficiency

۲- نقاط تحویل محل‌های تحویل آب کشاورزی به آبران یا نمایندگان آنان است. این نقاط در شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی در ابتدای شبکه فرعی می‌باشد.

3- Distribution Efficiency



$V_3 =$  حجم آب تحویلی برای مصارف غیرآبیاری از طریق شبکه فرعی (مترمکعب)،  
 $V_d =$  حجم آب ورودی از شبکه اصلی به شبکه فرعی (مترمکعب)، و  
 $V_4 =$  حجم آب ورودی از سایر منابع آب به شبکه فرعی (مترمکعب)، می‌باشد.  
 عوامل فوق در یک دوره معین (از یک نوبت تا یک فصل آبیاری) اندازه‌گیری یا برآورد می‌شود.

### ۲-۳-۳- بازده کاربرد آب در مزرعه

در این دستورالعمل، بازده کاربرد آب در مزرعه<sup>۱</sup> برای یک نوبت آبیاری به صورت «حجم آب ذخیره شده در محدوده توسعه ریشه گیاه (غیر از برنج)» به «حجم آب آبیاری تحویل شده به قطعه زراعی» تعریف و با استفاده از رابطه (۳-۲) محاسبه می‌شود [۸].

$$E_a = \frac{V_s}{V_f} \times 100 \quad (3-2)$$

که در آن:

$E_a =$  بازده کاربرد آب در مزرعه (درصد)،

$V_s =$  حجم آب آبیاری ذخیره شده در خاک محدوده توسعه ریشه گیاه<sup>۲</sup> (مترمکعب)، و

$V_f =$  حجم آب آبیاری تحویل شده به قطعه زراعی (مترمکعب)، می‌باشد.

حجم آب آبیاری ذخیره شده در خاک محدوده توسعه ریشه گیاه ( $V_s$ ) با استفاده از تفاوت میانگین رطوبت خاک در پیش و پس از آبیاری محاسبه می‌شود. صورت کسر در رابطه (۳-۲) نشان‌دهنده بخشی از مقدار آب ذخیره شده است که می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد.

آب مورد نیاز گیاه برنج شامل مجموع مقادیر تبخیر- تعرق و تراوش‌های (نفوذ) عمقی جهت ایجاد شرایط ماندابی است [۲۷]. بازده کاربرد آب در زراعت برنج به صورت رابطه (۴-۲) تعریف می‌شود [۲۷].

$$E_a = \frac{V_u - V_{loss}}{V_u} \times 100 \quad (4-2)$$

که در آن:

$E_a =$  بازده کاربرد آب در مزرعه (درصد)،

$V_u =$  حجم آب ورودی به مزرعه (مترمکعب)، و

$V_{loss} =$  حجم آب از دسترس خارج شده در مزرعه (مترمکعب)، است.

#### 1- Field Application Efficiency

۲- مقدار آب آبیاری ذخیره شده در خاک محدوده توسعه ریشه گیاه با بهره‌گیری از رابطه (۳-۴) که در فصل چهارم ارائه شده، محاسبه می‌شود.



حجم آبی که در هر کرت برنج از دسترس خارج می‌شود به صورت رواناب انتهایی، نفوذ عمقی، تبخیر سطحی و نشست (افقی) بوده که قابل اندازه‌گیری یا برآورد است. اگر آبیاری برنج به صورت کرت به کرت انجام شود، حجم آب خروجی هر کرت از دسترس آن کرت خارج شده ولی آب ورودی و قابل استفاده در کرت مجاور محسوب می‌شود. با توجه به دشواری برآورد دقیق رواناب خروجی و نشست، بهتر است در کرت‌هایی که مرز مشترک دارند و هم‌زمان آبیاری می‌شوند، اندازه‌گیری آب ورودی و خروجی در اولین و آخرین قطعه آبیاری صورت پذیرد و بازده کاربرد آب در کل این قطعات آبیاری به صورت یک پارچه محاسبه شود. فاصله بین دو اندازه‌گیری و مدت هر نوبت اندازه‌گیری آب ورودی و خروجی در مزارع برنج متناسب با برنامه آبیاری تعیین می‌شود. برای تعیین فرونشست عمقی لازم است نوسان‌های سطح آب زیرزمینی (سفره سطحی) در چاهک‌های مشاهده‌ای کنترل شود. چاهک‌های مشاهده‌ای در نزدیک‌ترین محل به مزارع به گونه‌ای حفر شوند که نزدیک به مزرعه برنج بوده و از نهر آبیاری و زهکشی فاصله داشته باشند<sup>۱</sup>.

هرچند کفایت آبیاری و یکنواختی کاربرد<sup>۲</sup> آب مفاهیم کامل‌تری از آبیاری را ارائه می‌دهند، ولی در دامنه کار این دستورالعمل قرار ندارند و می‌توانند موضوع ضابطه جداگانه‌ای باشند.

### ۲-۳-۴- بازده سامانه آبیاری

بازده سامانه آبیاری به صورت ترکیب دو بازده انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری و زهکشی تعریف شده است. این بازده می‌تواند مقدار آبی را نشان دهد که در مسیر انتقال و توزیع بین محل آبیگر اصلی تا محل تحویل به قطعات زراعی از دسترس شبکه آبیاری خارج می‌شود. بازده سامانه آبیاری به صورت رابطه (۲-۵) تعیین می‌شود [۸].

$$E_s = \frac{V_f + V_2 + V_3}{V_c + V_1 + V_4} \times 100 \quad (2-5)$$

که در آن:

$E_s$  = بازده سامانه آبیاری (درصد)،

$V_f$  = حجم آب تحویلی به قطعات زراعی (مترمکعب)،

$V_2$  = حجم آب تحویلی برای مصارف غیرآبیاری از طریق شبکه اصلی (مترمکعب)، و

$V_3$  = حجم آب تحویلی برای مصارف غیرآبیاری از طریق شبکه فرعی (مترمکعب)، و

$V_c$  = حجم آب انحرافی یا برداشت شده (پمپاژ) از رودخانه (مترمکعب)،

$V_1$  = حجم آب ورودی از سایر منابع آب به شبکه اصلی (مترمکعب)، و

۱- دستورالعمل حفر و تجهیز چاهک‌های مشاهده‌ای و نحوه‌ی استفاده از آن در نشریه شماره ۱۵۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در سال ۱۳۷۵ ارائه شده است [۱۶].



$V_4$  = حجم آب ورودی از سایر منابع آب به شبکه فرعی (مترمکعب)، می‌باشد.

بازده سامانه آبیاری به صورت رابطه (۶-۲) نیز محاسبه می‌شود [۸].

$$E_s = \left( \frac{E_c}{100} \times \frac{E_d}{100} \right) \times 100 \quad (6-2)$$

که در آن:

$E_c$  = بازده انتقال آب آبیاری (درصد) از رابطه (۱-۲)، و

$E_d$  = بازده توزیع آب آبیاری (درصد) از رابطه (۲-۲)، می‌باشد.

عوامل فوق در یک دوره معین (از یک نوبت تا یک فصل آبیاری) اندازه‌گیری یا برآورد می‌شود.

### ۲-۳-۵- بازده کلی آبیاری

در یک شبکه آبیاری و زهکشی، بازده کلی آبیاری (که به آن بازده کلی طرح آبیاری نیز گفته می‌شود)، بر مبنای تفکیک عملیات آبیاری به سه فرآیند انتقال ( $E_c$ )، توزیع ( $E_d$ ) و کاربرد آب در مزرعه ( $E_a$ ) تعریف شده است. بازده کلی آبیاری به صورت رابطه (۷-۲) محاسبه می‌شود [۸].

$$E_p = \left( \frac{E_c}{100} \times \frac{E_d}{100} \times \frac{E_a}{100} \right) \times 100 \quad (7-2)$$

که در آن؛  $E_p$  بازده کلی شبکه آبیاری برحسب درصد می‌باشد. در رابطه (۷-۲) سه بازده انتقال، توزیع و کاربرد آب در مزرعه در دوره بهره‌برداری یا هر بازه زمانی مورد نظر محاسبه و برحسب درصد بیان می‌شود. در این رابطه اثر بارندگی بر بازده کلی در مقایسه با حجم آب آبیاری ناچیز فرض می‌شود که به طور معمول این فرض صحت دارد.

### ۲-۳-۶- بازده بهره‌برداری

با بهره‌گیری از روابط ارائه شده توسط دانشگاه فناوری دلف [۳۹]، بازده کلی بهره‌برداری در شبکه آبیاری و زهکشی به صورت رابطه (۸-۲) محاسبه می‌شود.

$$E_{o,overall} = \left[ 1 - \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (V_{e,n} + V_{w,n})}{V_{a,intake}} \right] \times 100 \quad (8-2)$$

که در آن:

$E_{o,overall}$  = بازده کلی بهره‌برداری شبکه (درصد)،

$V_{e,n}$  = آب مازاد تحویل شده به آبیگر مزرعه<sup>۱</sup> (تفاوت آب مورد تقاضا و حجم آب تحویلی)، (مترمکعب)



$n$  = شماره آبیگرهای واقع در یک مسیر توزیع آب<sup>۱</sup> و از ۱ تا  $p$ ،  
 $V_{w,n}$  = کل آب سرریز شده از کانال‌ها و سازه‌هایی همچون آبیگرها و سرریزها (مترمکعب)،  
 $V_{a, intake}$  = حجم آب انحرافی به شبکه (مترمکعب)،  
 $p$  = تعداد کل آبیگرهایی که هم‌زمان در یک دوره بهره‌برداری آب دریافت می‌کنند، و  
 $\sum_{n=1}^{n=p} V_{e,n} + V_{w,n}$  = مجموع کل آب مازاد تحویلی و کل آب سرریز شده (مترمکعب).

عوامل رابطه (۸-۲) در طی یک نوبت تحویل آب، یک دوره بهره‌برداری یا هر بازه زمانی مورد نظر، اندازه‌گیری یا برآورد و برحسب یک واحد بیان می‌شوند. حجم آب مازاد تحویل شده به آبیگر مزرعه همان تفاوت حجم آب مورد تقاضا و حجم آب تحویلی است. کل حجم آب سرریز شده از سازه‌ها و کانال‌ها نیز مجموع حجم آب خروجی از این تاسیسات در طول یک دوره بهره‌برداری است که می‌توان آن را برحسب سوابق و شرایط جریان آب در شبکه، تعداد و مشخصات سرریزهای فعال، تخمین زد.

در حالتی که میزان آب سرریز شده از کانال‌ها و سازه‌ها ناچیز یا صفر باشد، بازده کلی بهره‌برداری در شبکه اصلی آبیاری با استفاده از رابطه (۹-۲) محاسبه می‌شود [۳۹].

$$E_{o,overall} = \left(1 - \frac{\sum_{n=1}^{n=p} V_{e,n}}{V_{a,intake}}\right) \times 100 \quad (9-2)$$

عوامل رابطه (۹-۲) مشابه رابطه (۸-۲) هستند و در قیل توضیح داده شده‌اند. در شرایطی ممکن است آبیاری شبانه در شبکه آبیاری و زهکشی انجام شود. بنابراین، مشابه تحویل آب در روز، نقاطی انتخاب شده و بازده بهره‌برداری برای نوبت‌های آبیاری شبانه تعیین می‌شود. بازده کلی بهره‌برداری در شبکه با تعیین میانگین وزنی بین آبیاری‌های روزانه و شبانه تعیین خواهد شد.

### ۲-۳-۷- بهره‌وری آب

بهره‌وری آب آبیاری به صورت نسبت مقدار محصول تولید شده به مقدار آب آبیاری کاربردی برای تولید این محصول تعریف و از رابطه (۱۰-۲) تعیین می‌شود [۳۳].

$$I_{WP} = \frac{Y_i}{V_i} \quad (10-2)$$

که در آن:

۱- عملکرد این آبیگرها به یکدیگر مرتبط می‌باشد و برداشت کم‌تر یا بیش‌تر آب در بالادست بر میزان آب قابل تحویل در پایین دست تاثیرگذار است.



$I_{WP}$  = بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)،

$Y_i$  = مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم)،

$V_i$  = مقدار آب مصرف شده (مترمکعب)، می‌باشد.

در رابطه (۲-۱)، عملکرد محصول و حجم آب مصرفی در یک مساحت مشخص، اندازه‌گیری می‌شود.

## ۲-۴- برآورد بازده آبیاری به روش شبیه‌سازی

تعیین بازده آبیاری نیازمند تعیین عوامل متعدد و گاه پیچیده است. از این‌رو تصمیم‌گیران، مدیران و مهندسان در پی آن هستند که بازده آبیاری با بهره‌گیری از داده‌های محدودتر و قابل دسترس از طریق مدل‌های شبیه‌سازی قابل پیش‌بینی و تصمیم‌گیری مقتضی برای مدیریت آن امکان‌پذیر شود. در شرایطی که شبکه وسیع، یا منابع مالی، انسانی و زمان محدود باشند، امکان بهره‌گیری از مدل‌ها در بررسی فعالیت‌های بهره‌برداری و عملکرد شبکه‌های آبیاری بیش‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. دستاوردهای علمی از جمله گسترش کاربرد رایانه، روش‌های حل عددی و تصاویر ماهواره‌ای ارائه و توسعه مدل‌هایی مبتنی بر روابط ریاضی را ممکن کرده است.

انواع مدل‌ها برحسب اهداف متخصصان مختلف معرفی شده‌اند. در حالی که محققان به شناخت فرآیندهای بنیادی در زمینه روابط آب، خاک و گیاه علاقه‌مند هستند، مدیران و مهندسان خواهان دستیابی به روابط تجربی و کاربردی می‌باشند به‌نحوی که پاسخ‌ها و ضوابطی مناسب برای مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری در شبکه‌ها تعیین شود. مدل‌های برآورد بازده آبیاری هنگامی کاربردی هستند که دارای ویژگی‌های زیر باشند:

– کاربری آسان و سرعت مناسب،

– ورود ساده داده‌ها،

– قابلیت پردازش و اصلاح داده‌ها،

– قابلیت عیب‌یابی و اصلاح فرآیندها،

– خروجی آسان و قابل تحلیل و متنوع،

– پاسخ‌گویی به نیازهای چندمنظوره، و

– اعتبارسنجی در شرایط محلی و توجه به شرایط مرزی و حدی بسط مدل.

مهم‌ترین مدل‌های معرفی شده در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم با موضوع، مدل‌های مبتنی بر روابط فیزیکی و ریاضی هستند که بر پایه اصل بقای جرم و استفاده از رابطه موازنه آب، شبیه‌سازی رفتار دینامیک جریان در شبکه کانال‌ها توسعه یافته‌اند. بدیهی است انتخاب مدل تابع هدف بوده و به‌کاربران دارای تخصص و دانش کافی همچون اساتید دانشگاه‌ها، دانشجویان، مهندسان مشاور و سایر پژوهشگران مرتبط نیازمند است.

در مدل‌های مبتنی بر موازنه (منابع و مصارف) آب در یک شبکه به عنوان یک واحد هیدرولوژیکی، آب آبیاری از منابع مختلف سطحی و زیرزمینی، بارندگی، جریان زیرزمینی ورودی و رواناب سطحی منابع آب ورودی و تبخیر- تعرق

گیاهان، نفوذ عمقی، تبخیر سطحی، جریان زیرزمینی خروجی و سایر مصارف آبیاری همچون آبخویی و مصارف غیرآبیاری منابع آب خروجی شبکه هستند. در یک دوره مشخص، تفاوت منابع آب ورودی و خروجی مساوی با تغییر ذخیره آب در شبکه می‌باشد. این ذخیره در شرایط معمول طی یک دوره طولانی مدت همچون یک سال در مقایسه با سایر اجزای موازنه آب ناچیز است و صفر فرض می‌شود [۳۴].

مدل‌های هیدرولیکی با شبیه‌سازی رفتار دینامیک جریان در شبکه کانال‌ها توسعه یافته‌اند. با استفاده از رایانه، حل معادله‌های جریان غیرماندگار برای بررسی رفتار هیدرولیکی جریان امکان‌پذیر شده است [۵، ۱۷، ۲۵ و ۳۶].

مدل‌سازی‌های مبتنی بر (نظریه) مجموعه‌های فازی از عواملی همچون جریان آب ورودی فصلی (آورد طبیعی) و مساحت شبکه آبیاری و زهکشی که هر دو با زمان تغییر می‌کنند، به عنوان ورودی مدل بهره می‌گیرند [۳۷]. با بهره‌گیری از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان میزان آبی را که در یک دوره بهره‌برداری از دسترس شبکه خارج می‌شود، را برآورد کرد. بازده کلی آبیاری شبکه برحسب تفاوت این میزان از کل آب تامین شده قابل تخمین است.



# فصل ۳

---

---

## تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری





## ۳-۱- کلیات

محاسبه بازده آبیاری و بهره‌وری آب در شبکه آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری مستلزم تعیین عواملی است که در تعیین این شاخص‌ها به طور مستقیم و غیرمستقیم به کار می‌روند. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در بازه‌ها، نقاط و مزارع نمونه اندازه‌گیری و جمع‌آوری می‌شوند.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز تعیین بازده انتقال، توزیع و کاربرد آب در مزرعه عبارت است از:

## الف- بازده‌های انتقال و توزیع آب

- برخی خصوصیات فیزیکی آب آبیاری همچون کل مواد جامد معلق<sup>۱</sup> و دما،
- برخی خصوصیات شیمیایی آب آبیاری همچون میزان اسیدی یا قلیایی بودن، شوری و نسبت جذب سدیم<sup>۲</sup>،
- حجم آب ورودی به شبکه اصلی یا شبکه فرعی (شبکه توزیع)،
- حجم آب ورودی و خروجی هر بازه یا سازه نمونه انتخابی در شبکه اصلی یا فرعی،
- حجم آب تبخیر شده از سطح کانال‌ها و مخازن روباز در مدت بهره‌برداری،
- حجم زه‌آب خروجی از شبکه زهکشی اصلی یا شبکه فرعی،
- حجم سایر نیازهای آبی تحویلی شبکه اصلی یا شبکه فرعی در صورت وجود، و
- حجم آب مصرفی گیاهان غیرزراعی مسیر جریان آب در شبکه اصلی یا فرعی در صورت وجود.

## ب- بازده کاربرد آب در مزرعه

- برخی خصوصیات فیزیکی و زیستی آب همچون کل مواد جامد معلق، محلول و آلی در آبیاری بارانی و موضعی،
- برخی خصوصیات شیمیایی آب آبیاری همچون میزان اسیدی یا قلیایی بودن، شوری، کل مواد جامد محلول<sup>۳</sup> و نسبت جذب سدیم،
- برخی خصوصیات فیزیکی خاک همچون بافت، رطوبت خاک محدوده توسعه ریشه گیاهان پیش و پس از آبیاری، جرم مخصوص ظاهری و نفوذپذیری خاک،
- برخی خصوصیات شیمیایی خاک همچون میزان اسیدی یا قلیایی بودن، شوری و درصد سدیم تبادلی خاک<sup>۴</sup>،
- حجم آب آبیاری تحویلی به قطعات زراعی و قطعات آبیاری نمونه انتخاب شده،

- 1- Total Suspended Solids (TSS)
- 2- Sodium Adsorption Ratio (SAR)
- 3- Total Dissolved Solids (TDS)
- 4- Exchangeable Sodium Percentage (ESP)



- حجم زه آب خروجی از شبکه زهکشی عمقی در صورت وجود،
- حجم رواناب آبیاری در انتهای مزارع در صورت وجود،
- حجم آب زیرزمینی ورودی و خروجی در محدوده اندازه‌گیری‌ها در صورت وجود،
- حجم آب مورد نیاز آشویی،
- عمق توسعه ریشه گیاهان ترکیب کشت، و
- سطح کشت و میزان عملکرد محصول گیاهان ترکیب کشت.

### ۲-۲- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی

بده و یا حجم آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی برای اهداف مختلف از جمله تعیین بازده آبیاری، توزیع و تحویل عادلانه آب بین آب‌بران، برنامه‌ریزی آبیاری، انجام تعهدات حقوقی در ارتباط با تامین و تخصیص حقابه‌ها، تعیین و دریافت آب‌بها اندازه‌گیری می‌شود. در این دستورالعمل هدف از اندازه‌گیری و تعیین بده و یا حجم جریان آب، بهره‌گیری از آن در محاسبه و تعیین بازده‌های آبیاری (شامل بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد و بهره‌برداری) و نیز بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری است.

تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب برحسب نوع و اجزای شبکه‌های آبیاری و زهکشی متنوع می‌باشد. در این دستورالعمل انواع متداول، ملاحظات انتخاب و نحوه‌ی به‌کارگیری هر یک از این تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب به تفکیک برای شبکه‌های ثقلی و تحت فشار بیان می‌شود.

#### ۳-۲-۱- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی

آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی ثقلی (یا به بیان ساده‌تر، شبکه‌های ثقلی) به‌صورت آزاد و غیرپُر جریان دارد و این شبکه‌ها به شکل روباز یا سرپوشیده (کانال، فلوم و...) طراحی و اجرا می‌شوند. در شبکه‌های آبیاری ثقلی اغلب بده جریان لحظه‌ای به‌طور غیرمستقیم با اندازه‌گیری عمق یا سرعت جریان تعیین می‌شود و حجم تجمعی آب عبوری در هر بازه زمانی از حاصل ضرب بده و مدت زمان جریان به‌دست می‌آید [۲]. تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری مستقیم بده یا حجم آب در این شبکه‌ها بسیار محدود هستند.

#### ۳-۲-۲- ملاحظات کلی انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی

تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی ثقلی متنوع می‌باشند [۲، ۹، ۱۱ و ۲۳]. اغلب هنگام عبور جریان آب از تجهیزات اندازه‌گیری، مقدار مشخص انرژی به‌صورت افت رقوم سطح آب تلف می‌شود. احداث سازه‌های اندازه‌گیری بده آب در کانال‌های ساخته شده هنگامی که افت سطح آب پیش‌بینی نشده باشد، به‌طور معمول، ممکن نمی‌باشد. زیرا بدون پیش‌بینی طراحی صحیح آن، سازه اندازه‌گیری مستغرق خواهد شد. در این شرایط سطح آب

پایین‌دست، جریان عبوری از سازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و افت بین تراز سطح آب بالادست و پایین‌دست سازه کاهش می‌یابد و اندازه‌گیری بده جریان بسیار مشکل و به طور معمول با خطای غیرقابل قبول همراه می‌شود. از سوی دیگر احداث سازه‌ای با افت سطح آب زیاد می‌تواند موجب بالا آمدن سطح آب بالادست و اختلال در جریان آب از تنظیم‌کننده بالادست آن و در نتیجه کاهش جریان ورودی به کانال شود. بنابراین در انتخاب روش‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی باید ملاحظات کلی زیر در نظر گرفته شوند:

- حفظ شرایط بهره‌برداری و عدم تغییر وضعیت هیدرولیکی طرح (انطباق با شرایط محل به‌کارگیری روش‌ها و تجهیزات و برنامه بهره‌برداری)،
- حدود تغییرات بده جریان،
- پیوسته یا متناوب بودن جریان،
- افت بار هیدرولیکی مجاز،
- استاندارد بودن و واسنجی تجهیزات،
- دقت اندازه‌گیری مورد انتظار،
- هزینه قابل تامین،
- قابلیت عبور اجسام شناور از تجهیزات در صورت لزوم،
- رسوب‌گذاری،
- امنیت و حفاظت،
- سهولت دسترسی (موجود بودن)،
- سهولت به‌کارگیری،
- قابلیت جابه‌جایی، و
- نیازهای نگهداری و تعمیرات.

سرریزها و ناوها دو گروه عمده تجهیزات اندازه‌گیری در کانال‌های روباز هستند. روزنه‌ها نیز در این کانال‌ها کاربرد دارند، به علاوه از روش‌های ویژه‌ای نیز برای اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی استفاده می‌شود. با توجه به آن که هر سازه اندازه‌گیری برای عبور جریان آب مقدار مشخصی انرژی را به‌صورت افت رقوم سطح آب تلف می‌کند، اگر جریان خیلی زیاد نباشد و امکان تامین افت بار هیدرولیکی فراهم باشد، سرریزها قابل استفاده‌ترین و اقتصادی‌ترین تجهیزات اندازه‌گیری آب در کانال‌ها هستند. هنگامی که تامین افت بار هیدرولیکی امکان‌پذیر نبوده و آب دارای اجسام شناور نباشد، روزنه‌های مستغرق جانشین مناسبی برای سرریزها هستند.

ناوهای پارشال در بسیاری از موارد مناسب‌تر از سرریزها و روزنه‌های مستغرق می‌باشند. این ناوها برای اندازه‌گیری جریان‌های زیاد که در عمل با سرریزها قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند، مناسب هستند و افت بار کم‌تری را ایجاد می‌کنند. در شرایطی که شیب مسیر برای نصب سرریزها مناسب نباشد یا از ناوها به دلایل هزینه اجرایی یا شرایط خاص شبکه

استفاده نشود، روزنه‌ها مناسب‌تر هستند. اگر مقدار جریان قابل اندازه‌گیری نبوده و یا هزینه نصب سرریزها، ناوها و روزنه‌های مستغرق مقرون به صرفه و شرایط بهره‌برداری مناسب نباشد، استفاده از مولینه‌ها توصیه می‌شود. سرعت‌سنج‌های فراصوتی در صورتی که امکان تامین هزینه آن فراهم باشد به لحاظ دقت، قابلیت استفاده در جریان‌های زیاد و در نقاط متعدد مناسب می‌باشند<sup>۱</sup>.

### ۳-۲-۳- انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی

برای اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی با جریان آزاد در حال بهره‌برداری لازم است که تا حد امکان از سازه‌ها و تجهیزات موجود در شبکه استفاده شود. در غیر این صورت، با توجه به ملاحظات کلی بیان شده در بخش ۳-۲-۲، استفاده از روش‌ها و تجهیزات زیر پیشنهاد می‌شود:

- در آبراهه‌های طبیعی<sup>۲</sup> دارای مقاطع منظم و بازه‌های مستقیم یکنواخت و شیب کم از تجهیزات فراصوتی، مولینه‌های پروانه‌ای (بزرگ)، روش بده-اشل، معادله مانینگ (روش شیب-سطح)، اجسام شناور یا ردیاب‌ها،
- در آبراهه‌های طبیعی بزرگ با مقاطع نامنظم و جریان متلاطم از تجهیزات فراصوتی یا ردیاب‌ها،
- در شبکه کانال‌های آبیاری بر مبنای مشخصات آن‌ها به صورت زیر:
  - کانال‌های با بده جریان بیش‌تر از ۱۰ مترمکعب بر ثانیه از تجهیزات فراصوتی، مولینه‌های پروانه‌ای (بزرگ)، روش بده-اشل یا معادله مانینگ (روش شیب-سطح)،
  - کانال‌ها با بده جریان بیش‌تر از ۱ و کم‌تر از ۱۰ مترمکعب بر ثانیه در صورت امکان تامین افت انرژی از سرریز مثلثی، سرریز لبه‌پهن و ناو پارشال یا ناو بدون گلو،
  - کانال‌های با بده جریان بیش‌تر از ۱ و کم‌تر از ۱۰ مترمکعب بر ثانیه در صورت عدم امکان تامین افت انرژی از تجهیزات فراصوتی، مولینه‌های پروانه‌ای (بزرگ)، روش بده-اشل، معادله مانینگ (روش شیب-سطح) یا جسم شناور،
  - کانال‌های با جریان تا ۱ مترمکعب بر ثانیه (به طور معمول شبکه‌های با ظرفیت کم<sup>۳</sup>)، در صورت تامین افت بار هیدرولیکی برای جریان‌های با دامنه تغییر کم از سرریز مستطیلی یا سرریز مثلثی لبه تیز یا ناو پارشال با اندازه گلو مناسب و برای جریان‌های متغیر از سرریزهای مستطیلی و دوزنقه‌ای،

۱- جزئیات بیش‌تر در مورد مشخصات هیدرولیکی، الزامات ساخت، نصب، بهره‌برداری و نگهداری در مراجع و استانداردها از جمله منابع مورد استفاده [۲]، [۳]، [۷]، [۹]، [۱۱]، [۱۹]، [۲۰]، [۲۱]، [۲۲]، [۲۳]، [۲۹] و [۳۰] و نیز در دستورالعمل‌های سازندگان ارائه شده است.

۲- در شرایطی که رودخانه بخشی از شبکه اصلی انتقال محسوب می‌شود.

۳- طبق تعریف سازمان خواروبار و کشاورزی (فائو) در نشریه آبیاری و زهکشی شماره ۲۶ (در دو جلد)، کانال‌های با ظرفیت تا یک مترمکعب بر ثانیه کانال‌های کوچک نامیده شده‌اند.



- کانال‌های با جریان ۱ مترمکعب بر ثانیه و کم‌تر در صورت عدم امکان تامین افت انرژی از ناوهای گلوکوتاه، پارشال یا بدون گلو با اندازه مناسب،
  - کانال‌های کوچک (بده جریان کم‌تر از ۳۰ لیتر بر ثانیه)، خاکی، جویچه‌ها و نهرهای مزرعه از ناوهای پارشال با اندازه گلو مناسب، ناوهای دایره‌ای یا سرریزهای مثلثی،
  - در آب دارای مواد زاید و اجسام شناور از تجهیزات فراصوتی،
  - در قطعات آبیاری در ورودی کرت‌ها، حوضچه‌ها و نوارهای آبیاری از ناوهای پارشال یا W.S.C.<sup>۱</sup> با اندازه (گلولی) مناسب،
  - در قطعات آبیاری در ورودی جویچه‌های آبیاری (روش جوی و پشته) از سیفون و لوله‌های کوتاه (اسپایل) و ناوهای دایره‌ای
  - داخل ناوها، خروجی و ورودی پل‌ها (کالورت‌ها) و سیفون‌های شبکه آبیاری و زهکشی از مولینه‌های پروانه‌ای و سرریزهای لبه‌پهن یا تجهیزات فراصوتی،
  - شیب‌شکن‌های عمودی از مولینه پروانه‌ای یا روش بده-اشل، و
  - شیب‌شکن‌های مایل از روش بده-اشل.
- در شبکه زهکش‌های روباز به شرح زیر:
- زهکش‌های روباز با جریان زه‌آب زیاد<sup>۲</sup> از مولینه پروانه‌ای، تجهیزات فراصوتی داپلر، روش شیب-سطح (معادله مانینگ)، یا روش بده-اشل،
  - زهکش‌های روباز با جریان زه‌آب کم از تجهیزات فراصوتی داپلر و در صورت کم بودن تراکم علف‌های هرز و امکان برآورد ضریب زبری از روش شیب-سطح (مانینگ)،
  - محل تقاطع زهکش با کالورت‌ها اگر جریان در هنگام عبور از این سازه بحرانی باشد از روش بده-اشل،
  - محل تقاطع زهکش روباز با پل‌ها اگر جریان در هنگام عبور از این سازه بحرانی نباشد پُر عبور کند از تجهیزات فراصوتی سطح‌سنج یا مولینه پروانه‌ای، و
  - محل تقاطع زهکش با پل‌ها اگر جریان در هنگام عبور از این سازه بحرانی و پُر نباشد از سرریزهای لبه‌پهن.

1-Washington State College (WSC) Flumes

۲- در محل اندازه‌گیری، جریان زهاب نباید با تلاطم و ناپایداری همراه باشد.



### ۳-۲-۴- ملاحظات به‌کارگیری تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های ثقلی

مجاری آب در شبکه‌های ثقلی ممکن است ابعاد متفاوت و جریان عبوری متغیری داشته باشند. انتخاب و به‌کارگیری تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری استاندارد چندان آسان نیست ولی با رعایت نکات توصیه شده در نصب و کاربرد تجهیزات، دقت کار می‌تواند قابل قبول باشد. بنابراین برحسب تجهیزات مورد استفاده، رعایت موارد زیر توصیه می‌شود:

– در نصب و استفاده از سرریزهای لبه‌تیز موارد زیر رعایت شود تا جریان آزاد و معادله‌های بده جریان آزاد قابل استفاده باشد:

- موانعی در سراب و پایاب دستگاه اندازه‌گیری موجود نباشد.
- دیواره سمت سرریز باید صاف و یکنواخت و محور قائم آن عمود بر محور نهر باشد و به جلو و عقب متمایل نشود.
- تاج (عرض) سرریز باید به طور کامل تراز و تیز باشد. ضخامت سرریز در جهت جریان باید بین ۱ تا ۲ میلی‌متر و طرفین سرریز مستطیلی باید به طور کامل عمود بر تاج آن باشد.
- فاصله تاج سرریز از کف کانال باید کمتر از دو برابر عمق آب روی تاج سرریز و باید حداقل ۳۰ سانتی‌متر نباشد.
- فاصله کناره‌های سرریز از کناره کانال باید کمتر از دو برابر عمق آب روی تاج سرریز و باید حداقل ۳۰ سانتی‌متر نباشد.
- تیغه آب روی سرریز باید در تاج و کناره‌ها با لبه‌تیز سرریز در تماس بوده و از زیر به طور کامل با هوای آزاد در ارتباط باشد.
- حداکثر تراز سطح آب در پایین‌دست باید ۶ سانتی‌متر پایین‌تر از تراز تاج سرریز باشد.
- اشلی که اختلاف تراز سطح آب بالادست تا تراز تاج سرریز را اندازه‌گیری می‌کند باید حداقل چهار برابر حداکثر عمق آب بر روی سرریز از سرریز فاصله داشته باشد و در کناره نهر قرار داده شود تا اندازه‌گیری با دقت امکان‌پذیر باشد.
- صفر اشل به طور دقیق منطبق بر رقوم تاج سرریز تنظیم شود.
- مقطع جریان نهر در بالادست سرریز در فاصله ۱۵ تا ۲۰ برابر عمق آب روی تاج باید حداقل هشت برابر سطح مقطع جریان عبوری از روی تاج سرریز و تا حد امکان یکنواخت یا با تغییر تدریجی باشد.
- اگر مقطع جریان کمتر از مقادیر بیان شده در بالا باشد، باید بار سرعتی آب در معادله سرریز در نظر گرفته شود.
- برای آن‌که دقت اندازه‌گیری قابل قبول باشد، عمق جریان بر روی تاج نباید بیش‌تر از یک سوم (عرض) تاج سرریز و کمتر از پنج سانتی‌متر باشد.
- حداقل عرض تاج سرریز از ۱۵ سانتی‌متر کمتر نباشد.
- شرایط استفاده مطلوب از سرریزها، جریان آزاد است که باید این وضعیت فراهم شود.



- کانال یا حوضچه در ورودی سرریزها باید تمیز و بدون رسوب و علف باشد.
- زمانی که رسوب و آشغال در بالادست انباشته شود (با دگرگونی ریخت هندسی بالادست)، بده بیش‌تری از سرریز عبور خواهد کرد. این افزایش به ابعاد سرریز و انباشتگی رسوب بستگی دارد که در صورت عدم پاکسازی رسوب باید در محاسبه بده جریان در نظر گرفته شود.
- موارد زیر در نصب و استفاده از سرریزهای لبه‌پهن به طور کامل رعایت شود تا جریان آزاد بوده و معادله‌های بده جریان آزاد قابل استفاده باشند:
  - موانعی در سراب و پایاب سرریز موجود نباشد.
  - ابعاد سرریز یعنی ارتفاع آن از کف کانال و طول تاج مطابق استاندارد ساخته شود.
  - به عنوان یک معیار طراحی سرریز لبه‌پهن، حداقل تغییر عمق آب در بالادست و پایین‌دست سرریز نسبت به تراز تاج سرریز ۱۵ درصد باشد.
  - حداقل ارتفاع آزاد کانال باید ۲۰ درصد عمق جریان آب در کانال در نظر گرفته شود.
  - از جریان‌های مستغرق جلوگیری شود زیرا موجب کاهش دقت اندازه‌گیری است.
  - همواره باید ارتفاع آب پایین‌دست نسبت به رقوم تاج سرریز، کم‌تر از ۰/۷ ارتفاع آب بالادست نسبت به رقوم تاج باشد.
- معادله‌های بده جریان در ناوها با رعایت موارد زیر قابل استفاده می‌باشند:
  - اندازه گلو متناسب با بده جریان و ابعاد کانال انتخاب شود که جریان در داخل گلو، گردابی نباشد.
  - ناو به طور دقیق مطابق نقشه و ابعاد استاندارد ساخته شده باشد.
  - سازه باید در مسیر مستقیم و در محلی از آبراهه که جریان آرام و یکنواخت است، احداث یا نصب شود.
  - ناو به دریچه، سرریز یا هر مانع دیگر در آبراهه نزدیک نباشد.
  - ناو باید در امتداد محور کانال احداث یا نصب شود و دارای زاویه با محور کانال نباشد.
  - تمامی جریان آب در آبراهه باید به طور کامل از گلوی ناو عبور کند و نشت آب از اطراف ناو مشاهده نشود.
  - کف ناو در مقطع ورودی سازه باید تراز باشد و جریان یکنواخت از مقطع گلو عبور کند.
  - دیوارهای جانبی گلو باید به طور کامل قائم و موازی هم باشند.
  - قرائت اشل در چاهک‌ها دقیق باشد.
  - نشست احتمالی محل نصب ناو باید کنترل شده و در صورت لزوم، باید ناوها دوباره تراز شوند.
- در روش استفاده از جسم شناور و مواد رنگی، بازه‌های انتخابی در آبراهه و کانال باید دارای شرایط زیر باشند:
  - مسیر بازه مستقیم باشد.
  - شکل سطح مقطع تا آنجا که امکان‌پذیر است منظم باشد.
  - تا حد امکان تغییرهای زیادی در سطح مقطع و شیب کف دیده نشود.



- بهتر است فاصله نقاط ابتدا و انتهای بازه به اندازه‌ای باشد که جسم شناور یا مواد رنگی حداقل ۲۰ ثانیه در مسیر حرکت کند.
- در کانال‌های عریض برای انداختن جسم شناور یا ریختن مواد رنگی، امکان دسترسی (ایمن) به نقطه شروع فراهم باشد.
- مواد شیمیایی مورد استفاده در اندازه‌گیری آب باید بر پایه ویژگی‌های زیر انتخاب شوند:
  - قابل دسترس باشند.
  - در آب با دمای معمولی به آسانی حل شوند.
  - توسط گیاهان آبی‌زی جذب نشده و یا با سایر مواد ترکیب نشوند
  - پیش از مصرف به عنوان ردیاب، در آب موجود نباشند.
  - مصرف آن پیامدهای محیط زیستی نداشته باشند.
  - گران قیمت نباشند.
  - در مقادیر کم نیز قابل ردیابی باشند.
- در استفاده از مولینه‌های پروانه‌ای (پره‌ای) ضمن رعایت دستورالعمل سازندگان، باید به نکات زیر توجه شود:
  - موانعی در محل اندازه‌گیری موجود نباشد.
  - کاربر آموزش دیده باشد.
  - اطمینان حاصل شود که سرعت آب به‌حدی است که پره‌های جریان‌سنج را حرکت می‌دهد.
  - پیش و پس از استفاده از دستگاه، منظم بودن نحوه‌ی چرخش پره‌ها مشاهده و کنترل شود.
  - اگر محور چرخش تنظیم بوده و سطح پره‌ها تمیز باشد، مدت زمان مورد نیاز توقف کامل پره‌ها سه دقیقه باشد. این وضعیت مناسب بودن میزان اصطکاک در مقایسه با استاندارد ساخت را نشان می‌دهد.
  - نوک پروانه مولینه به سمت بالادست جریان باشد.
  - مولینه در جهت خطوط و عمود بر جریان آب به‌نحوی نصب شود که جریان آب جهت آن را تغییر ندهد.
  - کاربر ضمن اندازه‌گیری، پیوسته کارکرد شمارش‌گر را که متاثر از چرخش پره‌ها است، کنترل کند.
  - پیش از ثبت شمارش چرخش پره‌ها، دستگاه ۱۰ تا ۲۰ ثانیه بچرخد.
  - تعداد و عمق اندازه‌گیری بر مبنای عمق جریان و عرض کانال انتخاب شود به‌نحوی که سرعت میانگین جریان تعیین شود (در آبراهه‌های کم عمق تا ۳۰ سانتی‌متر و کم عرض، یک اندازه‌گیری در عمق ۰/۶ سطح آب، در آبراهه‌های عمیق، اندازه‌گیری دو، سه یا پنج نقطه برحسب عمق آب و در کانال‌های پهن، عرض کانال به بازه‌هایی تقسیم و در هر بازه برحسب عمق، یک تا پنج اندازه‌گیری انجام شود. بازه‌ها به‌نحوی انتخاب شوند که بیش‌تر از حدود ۱۰ درصد جریان از هر بازه عبور نکنند).
  - مختصات محل (فاصله از سطح آب و دیواره کانال) اندازه‌گیری و ثبت شود.

- چرخش دستگاه در مدت زمان مساوی برای چندین نوبت اندازه‌گیری و ثبت و از میانگین شمارش‌ها استفاده شود. در صورت وجود تفاوت قابل توجه در شمارش‌ها، اندازه‌گیری تکرار شود.
  - سطح پره‌ها پس از استفاده تمیز و خشک شوند.
  - برای افزایش دقت میانگین شمارش‌ها در سرعت‌های نامنظم و یا کم، دوره مشاهده باید طولانی باشد.
  - پروانه بین قرائت‌ها از آب خارج و کاهش یا توقف احتمالی چرخش آن با آشغال یا دیگر مواد کنترل شود.
  - معادله سنجه دستگاه برحسب مدت زمان کارکرد واسنجی شود.
  - اگر پره‌ها زودتر از یک دقیقه متوقف شوند، دستگاه نیازمند کنترل در شرایط آزمایشگاهی است.
- در روش شیب- سطح (معادله مانینگ) باید بازه‌ای انتخاب شود که در آن جریان یکنواخت بوده، بنابراین باید شرایط زیر برقرار باشد:
- موانعی در ابتدا و انتهای بازه انتخابی و در کف کانال و مسیر جریان آب وجود نداشته باشد.
  - بازه مستقیم و شیب کف آبراهه ملایم باشد.
  - تراکم پوشش گیاهی حداقل باشد.
  - سطح مقطع و عرض دهانه در بازه، یکنواخت یا دارای تغییرات کم و تدریجی (جریان یکنواخت) باشد.
  - بازه انتخابی از پیچ‌های تند و سایر سازه‌های موجود در شبکه در بالادست و پایین‌دست به اندازه کافی دور باشد، به طوری که تفاوت تراز آب در دو مقطع اندازه‌گیری خیلی زیاد نبوده و پس‌زدگی آب معنی‌دار نباشد.
  - در اندازه‌گیری بده جریان در پایین‌دست یک دریچه یا لوله باید فاصله کافی از آن را حفظ کرد تا الگوی جریان و سرعت در طول و عرض مقطع یکنواخت و مشابه جریان در ادامه مسیر باشد. این فاصله به طور معمول ۱۰ تا ۳۰ برابر عمق جریان است.
- سایر ملاحظات در استفاده از روش شیب- سطح عبارت است از:
- جریان در مراحل اندازه‌گیری از کناره بازه سرریز نشود.
  - بازه به اندازه کافی طولانی باشد که خطای اندازه‌گیری شیب معنی‌دار نباشد.
  - داغ‌آب‌ها در مورد اندازه‌گیری‌های تراز آب در سطح مقطع مورد نظر، قابل مشاهده و ثبت باشد.
  - برای هر سطح مقطع بر مبنای وضعیت کف و دیواره بهتر است سرعت آب با تجهیزات دیگر (همچون مولینه پروانه‌ای) اندازه‌گیری و مساحت (سطح مقطع) و محیط خیس شده کانال آن تعیین شود. ضریب زبری از معادله مانینگ که به صورت رابطه (۱-۳) بوده، قابل محاسبه است. این ضریب تا عدم تغییر قابل توجه بستر جریان معتبر می‌باشد.

$$V = n^{-1} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

(۱-۳)

که در آن:



$V$  = میانگین سرعت جریان (متر بر ثانیه)،

$n$  = ضریب زبری یا ضریب مانینگ،

$R$  = شعاع هیدرولیکی (متر) مساوی  $\frac{A}{p}$ ،

$A$  = مساحت خیس شده (مترمربع)،

$P$  = محیط خیس شده (متر)، و

$S$  = شیب سطح آب (متر بر متر)، می‌باشد.

– در روش بده-اشل جریان محل نصب اشل باید به نحوی انتخاب شود که در آن شرایط زیر برقرار باشد:

- جریان آب بدون آشفتگی و پس‌زدگی بوده و قرائت اشل با دقت امکان‌پذیر باشد.
  - شکل سطح مقطع پایدار باشد.
  - دیواره فاقد علف‌های هرز باشد.
  - نشانه صفر در پایین‌ترین قسمت اشل در مقابل پنج مارک (نقطه نشانه) در روی زمین تراز شود.
  - اشل تمیز باشد و در محلی نصب شود که قرائت با دقت قابل قبول امکان‌پذیر باشد.
- در استفاده از تجهیزاتی همچون تجهیزات الکترومغناطیسی و فراصوتی طبق دستورالعمل‌های سازندگان عمل شود. اغلب این دستورالعمل‌ها اطلاعات کامل دارند و جزییات مناسبی را در اختیار کاربران قرار می‌دهند.

### ۳-۲-۵- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های تحت فشار

در شبکه‌های آبیاری و زهکشی با جریان تحت فشار (یا به طور ساده شبکه‌های تحت فشار) بده لحظه‌ای آب به طور عمده به روش غیرمستقیم با اندازه‌گیری بار آبی، فشار جریان یا سرعت جریان تعیین می‌شود. حجم تجمعی آب عبوری در هر بازه زمانی از حاصل ضرب بده و مدت زمان جریان به دست می‌آید [۲]. برخی تجهیزات قادر به اندازه‌گیری حجم تجمعی آب عبوری هستند.

### ۳-۲-۶- ملاحظات کلی انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های تحت فشار

تنوع تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری تحت فشار نسبت به شبکه‌های ثقلی کم‌تر می‌باشد [۲، ۹، ۱۱ و ۲۱]. انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های تحت فشار مشابه شبکه‌های ثقلی با رعایت ملاحظات زیر صورت می‌پذیرد:

– حفظ شرایط بهره‌برداری و عدم تغییر وضعیت هیدرولیکی طرح (انطباق با شرایط محل به کارگیری و برنامه بهره‌برداری)،

– حدود تغییرات بده جریان،

– پیوسته یا متناوب بودن جریان،



- افت بار هیدرولیکی مجاز،
- استاندارد بودن و واسنجی تجهیزات،
- دقت اندازه‌گیری مورد انتظار،
- هزینه قابل تامین،
- قابلیت عبور ذرات معلق در صورت لزوم،
- رسوب‌گذاری،
- امنیت و حفاظت،
- سهولت دسترسی (موجود بودن)،
- سهولت به‌کارگیری،
- قابلیت جابه‌جایی، و
- نیازهای نگهداری و تعمیرات.

در میان تجهیزات اندازه‌گیری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی تحت فشار، ونتوری‌مترها از جمله وسایل دقیق اندازه‌گیری جریان آب هستند. این تجهیزات موجب افت انرژی به میزان کم می‌شوند. ونتوری‌مترها در لوله‌های با قطر کوچک و بزرگ قابل کاربرد هستند. در لوله‌ها، تجهیزات الکترومغناطیسی استاندارد، جریان را در تمامی مقطع اندازه‌گیری می‌کنند و کم‌تر تحت تاثیر پروفیل سرعت آب در مقطع عرضی جریان هستند.

در روش فراصوتی بده یا حجم آب عبوری بر پایه ویژگی موج‌های فراصوتی (التراسونیک) تعیین می‌شود. جریان‌سنج فراصوتی در لوله‌های بزرگ (به قطر یک تا سه متر) قابلیت کاربرد بیش‌تری دارد و تهیه آن مقرون به صرفه است. البته برای اندازه‌گیری آب در لوله‌های با قطر کوچک نیز قابل کاربرد است.

بهترین و ساده‌ترین ابزار اندازه‌گیری آب در لوله‌های با جریان پُر، کنتورها (مکانیکی، الکترومغناطیسی یا فراصوتی) می‌باشند که بر سر راه آب و در لوله نصب می‌شوند. بده جریان در لوله‌ها با استفاده از معادله پیوستگی با داشتن سرعت آب و سطح مقطع لوله قابل تعیین است. بدین ترتیب که در صفحه مدرج کنتور، سرعت جریان عبوری از لوله نشان داده می‌شود. پس از تعیین سرعت آب، بده جریان از حاصل ضرب سرعت و سطح مقطع تعیین می‌شود. حجم جریان مساوی حاصل ضرب بده در مدت عبور جریان است. اگر حجم آب عبوری اندازه‌گیری شود، بده جریان با تقسیم حجم به مدت اندازه‌گیری تعیین می‌شود<sup>۱</sup>.

۱- جزئیات بیش‌تر در مورد مشخصات هیدرولیکی، الزامات ساخت، نصب، بهره‌برداری و نگهداری در مراجع و استانداردها از جمله منابع مورد استفاده [۳]، [۹]، [۱۱]، [۲۰] و [۲۱] و نیز در دستورالعمل‌های سازندگان ارائه شده است.



### ۳-۲-۷- انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های تحت فشار

در شبکه‌های تحت فشار به طور معمول از کنتور برای اندازه‌گیری بده یا حجم آب استفاده می‌شود. در لوله‌های شبکه اصلی میزان بده جریان عبوری به طور معمول بر مبنای آبدهی چاه‌ها و قطر و تعداد انشعاب‌ها تعیین می‌گردد. اگر محل‌های انتخاب شده در شبکه‌های تحت فشار فاقد تجهیزات اندازه‌گیری آب باشند، با توجه به ملاحظات بند ۳-۲-۶ می‌توان از تجهیزات و روش‌های زیر آب استفاده کرد:

- در شبکه خطوط لوله آبیاری

- در لوله‌های با قطر تا ۱۰۰۰ میلی‌متر (به طور معمول در شبکه اصلی) نصب شده در سطح زمین از تجهیزات الکترومغناطیسی یا فراصوتی،
- در لوله‌های مدفون شبکه اصلی، در نقاط نصب هیدرانت از تجهیزات الکترومغناطیسی یا فراصوتی،
- در لوله‌های شبکه فرعی از تجهیزات الکترومغناطیسی یا فراصوتی، کنتورهای حجمی یا لوله‌های پیتو،
- در ابتدای مزارع از کنتورهای حجمی یا شیرآلات کنترل بده جریان<sup>۱</sup>، و
- در داخل مزارع آبدهی تعدادی از گسیلنده‌ها و پاشنده‌ها (قطره‌چکان‌ها، آبیاش‌ها و غیره) با قوطی‌های نمونه‌برداری<sup>۲</sup> و ظروف مدرج و مقایسه با بده طراحی و اعمال ضرایب اصلاحی در صورت لزوم.

- در شبکه زهکشی زیرزمینی:

- در محل خروجی لوله زهکش زیرزمینی و ورود به شبکه زهکش روباز از مولینه پروانه‌ای، و
- در محل خروجی لوله زهکش مزرعه در حالتی که زه‌آب خروجی (پُر یا نیمه‌پُر) به شکل جت افقی باشد از روش اندازه‌گیری مختصات منحنی جت خروجی (روش اندازه‌گیری در لوله‌های افقی).

### ۳-۲-۸- ملاحظات به‌کارگیری تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در شبکه‌های تحت فشار

تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در خطوط لوله به طور معمول استاندارد هستند. جدول‌ها و منحنی‌های سنججه جریان برای تجهیزات استاندارد که با دقت نصب، بهره‌برداری و نگهداری شوند، ارائه شده و قابل استفاده می‌باشند. مهم‌ترین شرط برای اندازه‌گیری دقیق، انتخاب بازه‌ای مستقیم با جریان یکنواخت است. در استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری آب در خطوط لوله مواردی که باید رعایت شوند، عبارتند از:

- در نصب و استفاده از کنتورها در لوله‌ها ضمن رعایت دستورالعمل سازنده به نکات زیر توجه شود:
- با توجه به سرعت و بده طراحی، کنتور در اندازه مناسب انتخاب و به شکل صحیح نصب گردد.

۱- در مورد شیرآلات کنترل لازم است مدت تحویل آب ثبت و حجم آب تحویلی از حاصل ضرب بده جریان و مدت تحویل محاسبه شود.



- در هنگام اندازه‌گیری، جریان آب در لوله به‌صورت پُر عبور کند.
  - سرعت آب به اندازه‌ای باشد که پره‌های سرعت‌سنج را به حرکت درآورد.
  - در هنگام اندازه‌گیری، کنتور هواگیری شده باشد.
  - احتمال تغییر سطح مقطع جریان در لوله در اثر رسوب‌گذاری با توجه به کیفیت آب آبیاری و دوره بهره‌برداری لوله‌ها در نظر گرفته شده و با بررسی مقطع لوله پیش از فصل آبیاری در صورت تغییر قابل توجه و کاهش قطر به میزان بیش‌تر از ۲۰ درصد، در محاسبه بده جریان در نظر گرفته شود.
  - محل نصب به‌خوبی آب‌بندی شده و نشت آب مشاهده نشود.
  - کنتور از یخ‌زدگی مصون باشد.
  - در حد امکان، کنتور خالی از آب نشده و از ایجاد فشارهای ضربه قوچ جلوگیری شود.
  - در پایین‌دست و بالادست نزدیک به محل نصب، جریان دارای تغییر مسیر ناگهانی و افت انرژی نباشد.
  - کنتور از موانعی همچون اتصالات و شیرفلکه‌ها به اندازه کافی دور باشد. توصیه می‌شود این فاصله در بالادست هشت تا ۱۰ برابر و در پایین‌دست پنج برابر قطر لوله در نظر گرفته شود.
  - برای افزایش دقت اندازه‌گیری طول لوله مسیر جاسازی سنجنده ۲۰ تا ۳۰ برابر قطر لوله (یا بیش‌تر) باشد.
  - با توجه به مدت بهره‌برداری، میزان سرعت و مواد معلق آب، کنتور در زمان مناسب بازرسی و تمیز شود.
  - صحت کارکرد کنتور هرچند یک‌بار در شرایط آزمایشگاهی کنترل و واسنجی شود.
- در استفاده از لوله‌های پیتو
- در پایین‌دست و بالادست نزدیک به محل نصب دستگاه، جریان دارای تغییر مسیر ناگهانی و افت انرژی نباشد.
  - هنگام اندازه‌گیری اطمینان حاصل شود که جریان آب در لوله به‌صورت پُر عبور می‌کند.
  - دهانه لوله پیتو در فاصله سه‌چهارم شعاع لوله اصلی از مرکز لوله به سمت بالا جاسازی شود.
  - ضریب بده جریان برای لوله پیتو مساوی ۱ در نظر گرفته می‌شود، بنابراین با گذشت زمان و مدت بهره‌برداری، به تغییر احتمالی این ضریب توجه شود.
  - تغییر سطح مقطع جریان در لوله در اثر رسوب‌گذاری با توجه به کیفیت آب آبیاری و مدت استفاده از لوله‌ها بررسی و در صورت کاهش بیش‌تر از ۲۰ درصد قطر، در محاسبه بده در نظر گرفته شود.
- در استفاده از مولینه در خروجی لوله‌ها
- کاربر آموزش دیده باشد.
  - مولینه در محور مرکزی جریان خروجی لوله نصب شود.
  - سر پروانه اندازه‌گیری به سمت بالادست جریان باشد.
  - اطمینان حاصل شود که سرعت آب به‌حدی است که پره‌های جریان‌سنج را حرکت می‌دهد.
  - پیش و پس از استفاده از دستگاه، منظم بودن نحوه‌ی چرخش پره‌ها کنترل شود.

- محور چرخش تنظیم و سطح پره‌ها تمیز شود تا مقدار اصطکاک دستگاه مطابق استاندارد ساخت باشد.
  - شمارش‌گر کنترل شود که کارکرد پیوسته پره‌ها را نشان دهد.
  - پیش از ثبت شمارش چرخش پره‌ها، دستگاه ۱۰ تا ۲۰ ثانیه بچرخد.
  - چرخش دستگاه در مدت زمان مساوی در چندین نوبت اندازه‌گیری و ثبت و از میانگین شمارش‌ها استفاده شود. در صورت تفاوت قابل توجه در شمارش، اندازه‌گیری تکرار شود.
  - سطح پره‌ها پس از هر نوبت استفاده تمیز و خشک شود.
  - معادله سنجه دستگاه در زمان مناسب واسنجی شود.
- در استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری جدید همچون تجهیزات الکترومغناطیسی و فراصوتی باید براساس دستورالعمل‌های سازندگان عمل شود.

### ۳-۳- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری خصوصیات آب و خاک مرتبط با بازده آبیاری

داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در تعیین بازده آبیاری در شبکه در بازه‌ها و مزارع نمونه اندازه‌گیری و جمع‌آوری می‌شود. این بازه‌ها با توجه به برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی یا زیستی (بیولوژیکی) خاک و آب انتخاب و دسته‌بندی می‌شوند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و زیستی مورد نیاز در تعیین بازه‌ها و مزارع همگن در این دستورالعمل بیان می‌شود. از آنجا که تجزیه‌های آب و خاک باید در آزمایشگاه‌های معتبر و طبق استانداردهای جاری انجام شود، نیازی به ارائه تجهیزات و روش‌های تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های آب و خاک در این دستورالعمل نمی‌باشد<sup>۱</sup>.

#### ۳-۳-۱- خصوصیات فیزیکی خاک

برخی خصوصیات فیزیکی خاک که برای تعیین بازده کاربرد آب در مزرعه مورد نظر می‌باشد، عبارت است از:

##### – رطوبت خاک

بازده کاربرد آب در مزرعه به مقدار آب ذخیره شده در عمق توسعه ریشه گیاهان بستگی دارد. این ذخیره با اندازه‌گیری رطوبت خاک در پیش و پس از آبیاری محاسبه می‌شود [۱۳ و ۲۳].

۱- «دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی برای مطالعات خاک‌شناسی» توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با شماره ۴۶۷ در سال ۱۳۸۷ انتشار یافته است و حاوی شرح کامل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های آب و خاک می‌باشد [۱۳].



## - بافت خاک

بافت توزیع نسبی اندازه ذرات تشکیل‌دهنده خاک را نشان می‌دهد و بر بازده کاربرد آب در مزرعه موثر می‌باشد. بافت خاک در دسته‌بندی و انتخاب مزارع نمونه مورد استفاده است.

## - جرم مخصوص ظاهری

در تعیین بازده کاربرد آب در مزرعه، میزان آب ذخیره شده در خاک محدوده توسعه ریشه گیاهان مورد نیاز است که با اندازه‌گیری رطوبت خاک در پیش و پس از آبیاری محاسبه می‌شود. اغلب رطوبت خاک به صورت جرمی و برحسب درصدی از جرم نمونه خاک خشک به دست می‌آید، در حالی که رطوبت حجمی خاک برای محاسبه آب ذخیره شده در خاک مورد نیاز می‌باشد که با استفاده از رابطه (۲-۳) محاسبه می‌شود [۱۳].

$$\theta_v = \theta_m \cdot \frac{\rho_{b_s}}{\rho_{b_w}} \quad (2-3)$$

که در آن:

$$\theta_v = \text{رطوبت حجمی (درصد)},$$

$$\theta_m = \text{رطوبت جرمی (درصد)},$$

$$\rho_{b_s} = \text{جرم مخصوص ظاهری خاک}^1 \text{ (گرم بر سانتی‌مترمکعب)}, \text{ و}$$

$$\rho_{b_w} = \text{دانسیته آب (گرم بر سانتی‌مترمکعب)}^2, \text{ می‌باشد.}$$

مقدار رطوبت ذخیره شده در عمق توسعه ریشه گیاهان پس از هر نوبت آبیاری به صورت رابطه (۳-۳) محاسبه می‌شود [۳۲].

$$D = 1000(\theta_{v2} - \theta_{v1})Z \quad (3-3)$$

که در آن:

$$D = \text{عمق آب ذخیره شده در خاک (میلی‌متر)},$$

$$\theta_{v2} = \text{رطوبت حجمی خاک پس از آبیاری (مترمکعب آب در هر مترمکعب خاک)},$$

$$\theta_{v1} = \text{رطوبت حجمی خاک پیش از آبیاری (مترمکعب آب در هر مترمکعب خاک)}, \text{ و}$$

$$Z = \text{عمق توسعه ریشه گیاه (متر)}, \text{ و عدد } 1000 \text{ برای تبدیل واحد می‌باشد.}$$

1-Bulk Density



از حاصل ضرب (D) در مساحت کرت، نوار یا جویچه تحت آبیاری، مقدار حجم آب ذخیره شده در عمق توسعه ریشه گیاهان که همان  $V_s$  در رابطه (۲-۳) است، به دست می‌آید.

### ۲-۳-۳- خصوصیات شیمیایی خاک

در دسته‌بندی مزارع همگن و انتخاب مزرعه معرف برای تعیین بازده کاربرد آب، خصوصیات شیمیایی خاک شامل موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- میزان نمک‌های محلول (شوری خاک)،
- درصد سدیم تبادلی خاک (سدیمی بودن خاک).

### ۳-۳-۳- خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب

در تعیین بازده کاربرد آب، مزارع همگن با توجه به کیفیت منابع آب و روش‌های آبیاری دسته‌بندی شده و پس از آن مزارع نمونه انتخاب می‌شوند. دسته‌بندی برحسب برخی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب به شرح زیر صورت می‌پذیرد:

- خصوصیات فیزیکی آب: درصد رطوبت، مواد جامد معلق شامل مواد غیرآلی (همچون شن، سیلت، رس، پلاستیک و غیره) و به علاوه مواد آلی (همچون موجودات ریز آبی، حلزون، ماهی، لارو و غیره) در سامانه‌های تحت فشار،
- خصوصیات شیمیایی آب: نمک‌های محلول (شوری) و نسبت جذب سدیم و میزان اسیدی یا قلیایی بودن،
- خصوصیات زیستی آب: جمعیت باکتری‌ها.

### ۴-۳-۳- انتخاب تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک

تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک با بررسی مزایا و معایب هر یک که در ادامه مطالب بیان می‌شود، و براساس شرایط و امکانات انتخاب می‌شوند.

- روش وزنی
  - این روش ساده و کم هزینه است.
  - خاک در نمونه‌برداری دست‌خورده می‌شود، لذا مناسب به‌کارگیری در خاک‌های غیرهمگن نمی‌باشد.
  - محاسبه رطوبت حجمی نیازمند جرم مخصوص ظاهری خاک بوده که تعیین آن به ویژه در شرایط مزرعه مشکل است.
  - در این روش حداقل ۲۴ ساعت برای خشک شدن نمونه‌ها مورد نیاز است.
  - برخی رس‌ها هنگام خشک شدن در دمای استاندارد نیز ممکن است مقداری قابل توجه آب نگهداری کنند و لذا رطوبت خاک کمتر از مقدار حقیقی تعیین شود.



- هنگام خشک شدن خاک در دمای استاندارد ممکن است مقداری از ماده آلی اکسیده و تجزیه شود و کاهش جرم خاک مرطوب تنها به دلیل کاهش آب نباشد. لذا به کارگیری آن در خاک‌های آلی مناسب نمی‌باشد.
  - دقت روش وزنی با اجرای صحیح، بالا می‌باشد و در واسنجی سایر روش‌ها کاربرد دارد.
- تانسئومتر
- تانسئومتر به طور نسبی وسیله‌ای گران‌قیمت است.
  - به واسطه مقاومت هیدرولیکی کلاهدک تانسئومتر و خاک مجاور آن و یا منطقه تماس بین کلاهدک و خاک، عکس‌العمل تانسئومتر ممکن است با یک تاخیر زمانی نسبت به تغییرات مکش خاک مشاهده شود. البته تاثیر این تاخیر را می‌توان با استفاده از فشارسنج الکتریکی کاهش داد.
  - دیواره کلاهدک تانسئومتر در مقابل ورود آب و نمک‌های محلول خاک نفوذپذیر است. در نتیجه آن، آب داخل تانسئومتر به تدریج مشابه ترکیب و غلظت آب خاک می‌شود. از این رو تانسئومتر مکش اسمزی را نشان نمی‌دهد. مگر با یک وسیله اضافی برای اندازه‌گیری تاثیر نمک‌ها مجهز شود.
  - برای اغلب تانسئومترها حدود مکش مجاز قابل اندازه‌گیری کم‌تر از ۰/۸۵ آتمسفر است. بنابراین تانسئومترها در خاک شنی که ۸۰ درصد آب قابل استفاده آن‌ها در مکش ۰/۸۵ آتمسفر قرار دارد، قابل استفاده‌تر هستند.
  - در فشار یک آتمسفر، هوا از دیواره کلاهدک تانسئومتر عبور می‌کند و پیوستگی ستون آب از میان می‌رود. به علاوه کلاهدک تانسئومتر از مواد متخلخل و قابل نفوذ ساخته شده است که در مکش‌های خیلی زیاد مانعی در عبور هوا به لوله نیست. در این حالت قرائت تانسئومتر صحیح نمی‌باشد.
  - احتمال یخ‌زدگی آب داخل محفظه تانسئومتر برای مناطق دارای سرمای دیرهنگام بهاره یا زودهنگام پاییزه وجود دارد.
- بلوک گچی
- بلوک گچی ارزان و کار با آن ساده است.
  - خاک دست‌نخورده باقی می‌ماند.
  - بلوک‌های گچی از موادی همچون فایبرگلاس ساخته می‌شوند که قابل حل در آب و محلول خاک و یا قابل ترکیب با آن‌ها نباشند. مقدار هدایت الکتریکی بلوک به ویژگی‌های سیال عبوری از قالب متخلخل بستگی دارد، بنابراین این نوع بلوک‌ها به تغییر جزئی شوری خاک حساس هستند و در خاک شور باید نسبت به شوری نیز واسنجی شوند.
  - بلوک‌های متخلخل که از پلاستر پاریس (گچ دندان‌سازی) تهیه می‌شوند، غلظت ثابت الکترولیت که معادل غلظت محلول اشباع سولفات کلسیم است را حفظ می‌کنند. این خاصیت موجب می‌شود که در مقابل تغییرات کم یا متوسط غلظت محلول خاک همچون بافر عمل کنند و به تغییرات ناشی از افزایش



- کود شیمیایی یا شوری کم، حساس نباشند. این گونه بلوک‌ها به دلیل قابل حل بودن گچ پس از مدتی در خاک تجزیه و تخریب می‌شوند. در خاک شور، آلی یا خیلی مرطوب طول عمر این قالب‌ها ممکن است حداکثر به اندازه یک فصل آبیاری باشد، در حالی که در خاک خشک حداکثر پنج سال دوام دارند.
- گرچه مکش صفر تا ۱۵۰ متر آب به وسیله بلوک گچی قابل اندازه‌گیری است ولی دقت اندازه‌گیری برای تمام این دامنه یکسان نیست. به همین دلیل بلوک‌ها طوری ساخته می‌شوند که یا در دامنه مرطوب بین صفر تا ۵۰ متر یا در دامنه خشک بین ۱۰ تا ۱۵۰ متر استفاده شوند. ولی دقت کار بلوک گچی در دامنه صفر تا هشت متر به هیچ‌وجه همچون تانسومتر نخواهد بود.
- بلوک گچی برای اندازه‌گیری رطوبت پایین دقت بیش‌تر دارد.
- بلوک گچی به تغییر دما حساس است.
- می‌توان بلوک گچی را به دستگاه ثبات وصل و تغییر رطوبت خاک در شرایط مزرعه را به طور پیوسته اندازه‌گیری کرد.
- بلوک گچی برای اندازه‌گیری رطوبت خاک رسی مناسب‌تر است زیرا خاک رسی در رطوبت معمول کشاورزی مکش بیش‌تری را نشان می‌دهد.

#### – دستگاه TDR

- نیازمند واسنجی در خاک‌های با بافت مختلف نیست.
- دقت اندازه‌گیری رطوبت با این دستگاه زیاد است ( $\pm 0.02$  مترمکعب بر مترمکعب).
- دستگاه گران‌قیمت و نیازمند نگهداری دقیق است.
- دارای انواع قابل استفاده در خاک شور نیز می‌باشد.

#### – نوترون‌متر

- دستگاهی گران‌قیمت و دارای اجزای الکترونیکی ظریف و نیازمند بهره‌برداری و نگهداری دقیق است.
- به واسطه خطر اشعه رادیواکتیو، استفاده ناصحیح از دستگاه می‌تواند بسیار خطرناک باشد.
- در این روش خاک دست‌نخورده باقی می‌ماند.
- امکان اندازه‌گیری سریع و مکرر رطوبت حجمی اعماق مختلف نیم‌رخ خاک فراهم است.
- حجمی از خاک که با دستگاه نوترون‌متر رطوبت آن اندازه‌گیری می‌شود بستگی به مقدار آب خاک دارد (در خاک مرطوب به قطر ۱۵ سانتی‌متر و در خاک خشک به قطر ۵۰ سانتی‌متر یا بیش‌تر).
- این دستگاه برای اندازه‌گیری رطوبت به حجم زیادتر از خاک نیازمند است و برای وضعیتی که رطوبت لایه‌های خاک پیوسته نباشد (همچون جبهه یا مرزهای بین لایه‌های رطوبتی) مناسب نمی‌باشد. بنابراین در کشت متراکم و روش آبیاری غیرموضعی (کرتی، نواری و بارانی) مناسب‌تر است.
- این روش برای اندازه‌گیری رطوبت لایه سطحی خاک مناسب نمی‌باشد.

- در اغلب خاک‌ها غیر از خاک‌های دارای رس، کلرید، آهن یا بور زیاد مناسب می‌باشد.
- اجزای الکترونیکی نوترون‌متر آسیب‌پذیر بوده و بهره‌برداری و نگهداری آن مستلزم دقت و احتیاط زیاد است.

### ۳-۳-۵- ملاحظات به‌کارگیری تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک

#### – روش وزنی

- نمونه‌برداری، انتقال و توزین نمونه‌های خاک باید با دقت زیاد انجام شود. نکته مهم حفظ رطوبت نمونه‌ها در فاصله بین نمونه‌برداری و توزین است. باید توجه شود که نمونه خاک مرطوب برای مدت زیادی در معرض هوای آزاد قرار نگیرد زیرا تبخیر آب از نمونه در این وضعیت می‌تواند موجب خطا در نتایج شود.
- هنگام نمونه‌برداری باید توجه شود که خاک اعماق مختلف با هم مخلوط نشود.
- نمونه‌برداری باید از نقطه‌ای در بین فاصله دو گیاه یا در امتداد ردیف‌های کشت انجام شود.
- در مراحل اولیه رشد گیاه بهتر است نمونه خاک از فاصله نزدیک گیاه تهیه شود.
- برای هر داده، ۳ تکرار برای نمونه‌برداری (در عمق مورد نظر و در سطح مزارع یکنواخت) پیشنهاد می‌شود.

#### – دستگاه تانسئومتر

- تانسئومتر برای اندازه‌گیری مکش خاک تا ۰/۸۵ اتمسفر مناسب است. بنابراین برای زراعت‌هایی که با دور کوتاه آبیاری می‌شوند (همچون گیاهان سبزی و صیفی و لوبیا) مناسب هستند.
- در نصب و استفاده از تانسئومتر دقت شود که کلاهک تانسئومتر در تماس کامل با خاک باشد.
- پیش از نصب تانسئومتر باید از غیرقابل نفوذ بودن آن نسبت به هوا در وضعیت توصیه شده (مکش تا ۰/۸۵ اتمسفر) اطمینان حاصل شود. برای این کار لوله تانسئومتر از آب مقطر پر و انتهای آن مسدود می‌شود. سپس، کلاهک تانسئومتر بالای اجاقی نگه داشته شده تا آب تانسئومتر از سطح کلاهک تبخیر شود. با خروج آب از کلاهک، فشارسنج باید مکش را نشان دهد. اگر تانسئومتر دارای ایراد باشد عقربه فشارسنج پیش از این که به ۰/۸۵ اتمسفر برسد، پایین می‌رود که نشان‌دهنده ورود هوا به داخل تانسئومتر است.
- تانسئومتر در آب باید رقم صفر و در شرایط مزرعه رقم ۰/۱۵ تا ۰/۳ را نشان دهد.
- با واسنجی تانسئومتر و اندازه‌گیری مکش خاک در شرایط مزرعه منحنی مکش خاک تعیین می‌شود. این منحنی باید نزدیک به منحنی رطوبت خاک تعیین شده در آزمایشگاه باشد. تفاوت زیاد نشان‌دهنده تاخیر زمانی در برقراری تعادل بین مکش خاک و تانسئومتر و هدایت آبی پایین کلاهک است.
- محل نصب تانسئومترها باید با میله‌های چوبی علامت‌گذاری و مشخص شوند تا قابل مشاهده باشند.
- پس از نصب، باید خاک اطراف تانسئومتر فشرده و سطح خاک به‌نحوی باشد که از تجمع آب در اطراف لوله تانسئومتر و نفوذ آن در طول لوله جلوگیری شود.



- با توجه به احتمال یخ‌زدگی آب داخل محفظه، تانسئومتر برای مناطق دارای سرمای دیر هنگام بهاره و زود هنگام پاییزه مناسب نمی‌باشد.
- بلوک‌های گچی
- بلوک‌های گچی تا مکش ۱۵ اتمسفر قابل استفاده می‌باشند بنابراین برای زراعتی که با دور طولانی آبیاری می‌شود (همچون گندم و جو)، مناسب هستند.
- بلوک‌ها (به تعداد بیش‌تر از نیاز) باید پیش از نصب به مدت ۵/۰ ساعت در آب قرار داده تا اشباع شوند. در همین حال، مقاومت دو سر الکتروود با مقاومت‌سنج اندازه‌گیری می‌شود، اگر عدد قرائت شده در بعضی بلوک‌ها از ۵ درصد میانگین قرائت‌ها تجاوز کرد، آن بلوک‌ها نباید مورد استفاده قرار گیرند.
- بلوک‌های مورد تایید در داخل خاک گلدان نصب و پس از آبیاری مقاومت در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شود (اوایل، روزانه و سپس چند روز در میان بر حسب گرمی هوا که تغییر و کاهش رطوبت مشاهده گردد). هم‌زمان با قرائت، رطوبت خاک تعیین شود (با توزین گلدان در دو نوبت متوالی می‌توان درصد رطوبت را تعیین کرد). با رسم منحنی تغییرات مقاومت بلوک و درصد رطوبت خاک، بلوک‌ها واسنجی می‌شوند. حال پس از نصب در مزرعه کافی است مقاومت بلوک‌ها اندازه‌گیری و درصد رطوبت از منحنی رطوبتی خاک تعیین شود.
- تفاوت قرائت بلوک‌ها در آب نباید از ۵۰ اهم بیش‌تر باشد. زیرا در این شرایط غیریکنواخت هستند. قرائت بلوک‌ها اگر در داخل آب صفر باشند، ایده‌آل است ولی اگر تا حدود ۴۰۰ اهم را نشان هم دهند، با اعمال ضریب اصلاحی قابل استفاده هستند. ولی اگر بیش‌تر باشد، استفاده از این بلوک‌ها توصیه نمی‌شود. قرائت بلوک برای رطوبت در حد ظرفیت مزرعه باید ۵۰۰ تا ۶۰۰ و در حد پژمردگی ۵۰،۰۰۰ تا ۷۵،۰۰۰ اهم باشد. البته بلوک گچی باید مقاومت ۱۰۰،۰۰۰ و ۲۰۰،۰۰۰ اهم را نیز اندازه‌گیری کند.
- برای جلوگیری از پلاریزه شدن الکتروودها و امکان بروز اشتباه در اندازه‌گیری، توصیه می‌شود از مقاومت‌سنجی استفاده شود که در آن جریان برق مستقیم باتری به جریان متناوب تبدیل می‌گردد. به طور معمول مقاومت‌سنج‌های ۱۰۰۰ سیکلی به کار می‌رود زیرا از قطبی شدن جلوگیری شده و اشتباه اندازه‌گیری‌ها کم‌تر می‌شود.
- دقت شود بلوک‌های گچی در محدوده توسعه ریشه گیاهان نصب شوند و تماس بین قالب و خاک کامل باشد. قطعات سنگ و ریشه گیاهان نباید با قالب گچی در تماس باشند.
- بلوک‌های گچی در فواصل بیش‌تر از ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر نصب شوند.
- پس از نصب قالب‌ها، سطح خاک روی آن را کمی بالا آورده تا از جمع شدن آب در آن جلوگیری شود.
- محل نصب قالب‌ها در کشت متراکم بین دو بوته مجاور و در کشت ردیفی بین دو ردیف باشد.



- دستگاه برای هر خاک واسنجی شود. واسنجی این قالب‌ها در مقابل مکش بر واسنجی آن‌ها در مقابل رطوبت ترجیح دارد. به ویژه اگر نمونه خاک دست‌خورده و متفاوت از خاک مزرعه باشد.
- دستگاه TDR
  - دستگاه نیازمند واسنجی و تنظیم است.
  - در استفاده از دستگاه توجه به اتصال سیم‌های رابط و عدم نفوذ آب و رطوبت به بخش دیجیتالی از اهمیت برخوردار است و باید مورد توجه قرار گیرد.
  - در خاک شور از حس‌گرهای مناسب استفاده شود.
  - میله‌های (حس‌گرها) دستگاه به نحوی در خاک نصب شوند که تمامی سطح میله‌ها در خاک قرار گیرند.
- دستگاه نوترون‌متر
  - در استفاده از نوترون‌متر باید مقررات پرتوهای رادیواکتیو رعایت شود.
  - لوله فلزی نوترون‌متر به نحوی در مزرعه نصب شود که منبع رادیواکتیو در اعماق مورد نظر قرار گیرد.
  - لوله فلزی باید در تماس کامل با خاک باشد. وجود فاصله و فضا بین لوله و خاک موجب خطای اندازه‌گیری است. بنابراین بهتر است حفره مورد نیاز کارگذاری لوله با مته‌ای کوچک‌تر از قطر لوله حفر شود.
  - هر دستگاهی باید در شرایط مزرعه و برای هر بافت خاک واسنجی شود.

### ۳-۴- واسنجی و صحت‌سنجی تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری

تعیین رابطه بین کمیت اندازه‌گیری شده توسط یک دستگاه یا فرآیند در شرایط کنترل شده با همان کمیت که در شرایط معمول اندازه‌گیری شده، واسنجی دستگاه یا روش اندازه‌گیری گفته می‌شود که در روش ساده، مقایسه یک کمیت اندازه‌گیری شده با دو دستگاه یا فرآیند است که یکی دستگاه یا فرآیند تحت آزمون و دیگری دستگاه یا فرآیند استاندارد نامیده می‌شود [۲]. واسنجی به دلایل زیر ضروری می‌باشد:

- از دستگاه جدید اندازه‌گیری استفاده شود.
- از واسنجی دستگاه مدت زمان طولانی سپری شده باشد.
- هنگامی که مدت طولانی از دستگاه بهره‌برداری شده باشد.
- در شرایطی که دستگاه دچار صدمه شود.
- هنگامی که مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) غیرعادی و پرسش‌برانگیز باشد.



بنابراین برحسب عواملی همچون تغییر ظاهری و به‌هم‌خوردن شرایط نصب و کاربرد استاندارد تجهیزات و دستگاه‌ها، مدت بهره‌برداری طولانی و مشاهده نتایج غیرمعمول، لازم است تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب در کانال‌ها و لوله‌ها و دستگاه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک مورد واسنجی قرار گیرند. بدین ترتیب که عوامل مورد نظر اندازه‌گیری همچون سرعت، بده یا عمق جریان و رطوبت خاک به طور هم‌زمان با دو روش که یکی استاندارد و دیگری تحت آزمون است، اندازه‌گیری و مقایسه شوند و در صورت لزوم، ضریب‌های اصلاحی تعیین گردد. در واسنجی تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری سرعت یا بده جریان آب، به طور معمول از یک سرعت‌سنج پروانه‌ای مورد تایید استفاده می‌شود. روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری آب خاک از جمله نوترون‌متر و TDR با استفاده از روش وزنی قابل واسنجی هستند.

### ۳-۵- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب زیرزمینی

تغییرات آب زیرزمینی سفره سطحی با هدف دستیابی به تخمینی از نشت و یا نفوذ عمقی آب آبیاری در طی فرآیندهای انتقال، توزیع و کاربرد در شبکه آبیاری و زهکشی اندازه‌گیری و بررسی می‌شود. این تغییرات از طریق چاهک‌های مشاهده‌ای قابل مشاهده و تعیین می‌باشند. چاهک‌های مشاهده‌ای طبق دستورالعمل‌های فنی حفر و تجهیز می‌شوند<sup>۱</sup> و با برداشت آمار سطح آب در آن به طور دوره‌ای و مستمر، متناسب با برنامه آبیاری، شدت جریان آب زیرزمینی در سفره سطحی قابل تعیین خواهد بود.

در شبکه‌های دارای زهکش‌های زیرزمینی و یا سطحی، محل‌های خروجی زه‌آب از زهکش‌های جانبی<sup>۲</sup>، جمع‌کننده‌ها و یا زهکش‌های روباز درجه سه، به عنوان نقاط کنترل و اندازه‌گیری زه‌آب قابل استفاده هستند. تعدادی از این محل‌ها برحسب آرایش شبکه زهکشی به عنوان معرف و شرایط همگن انتخاب می‌شوند. اندازه‌گیری میزان جریان زه‌آب در نقاط کنترل و در فواصل زمانی متناسب با برنامه تحویل آب و با استفاده از تجهیزات و روش‌های ارائه شده در انتهای بند ۳-۲-۷ انجام می‌شود. از تفاوت میزان جریان زه‌آب در نقاط کنترل در بازه زمانی معین، برآوردی از نشت و نفوذ عمقی آب<sup>۳</sup> در آن بخش از زمین‌های تحت آبیاری شبکه به‌دست می‌آید و قابل تعمیم به شرایط مشابه می‌باشد.

۱- «دستورالعمل حفر و تجهیز و استفاده از چاهک‌های مشاهده‌ای» توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در سال ۱۳۷۵ به صورت استاندارد شماره ۱۵۴ انتشار یافته است.

2- Lateral

۳- ممکن است بخشی از این نفوذ عمقی از منبع بارندگی باشد. برای دقت در نتیجه‌گیری بهتر است اندازه‌گیری در ایامی صورت پذیرد که شامل نفوذ عمقی ناشی از آبیاری باشد.



### ۳-۶- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری آب مورد نیاز گیاهان

تجهیزات و روش‌های متعددی برای برآورد یا اندازه‌گیری آب مورد نیاز گیاهان معرفی شده‌اند. در حال حاضر سند ملی آب مبنای تحویل آب به آب‌بران شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد [۱، ۲۴ و ۲۹]، مگر آن که مغایرت ارقام ارائه شده در سند با شرایط موجود توسط مهندسان مشاور طرح اعلام شود و مورد تایید کارفرما قرار گیرد که در این حالت از ارقام اصلاح شده استفاده می‌شود<sup>۱</sup>. بنابراین، تجهیزات و روش‌های تعیین آب مورد نیاز گیاهان در این دستورالعمل بیان نمی‌شود و مقدار آب تحویلی به آب‌بران طبق برنامه بهره‌برداری شبکه مشخص می‌شود.

### ۳-۷- تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری عملکرد محصول گیاهان

عملکرد محصولات تحت آبیاری در بازه‌های معرف و نمونه برای تعیین بهره‌وری آب در شبکه اندازه‌گیری می‌شود. تجهیزات و روش‌های اندازه‌گیری عملکرد برحسب نوع محصول متفاوت است.

#### ۳-۷-۱- اندازه‌گیری عملکرد محصولات زراعی

عملکرد محصولات سالانه (همچون غلات و حبوبات) در سطح کوچک به عنوان نمونه برداشت و به وسیله ترازو توزین و به کل سطح زیر کشت تعمیم داده می‌شود. بدین منظور از بلانکت‌های چوبی (مربع‌های چوبی توخالی) با مساحت معین به عنوان مثال یک مترمربع (به ابعاد یک متر × یک متر) استفاده می‌شود. برای این کار پس از انتخاب تصادفی نقاط در محدوده مشخص شده، بلانکت‌های چوبی را روی سطح زمین قرار می‌دهند و محصول بوته‌های داخل مربع را برداشت و توزین می‌کنند. توجه به نکات زیر دقت اندازه‌گیری را افزایش می‌دهد:

- زمان برداشت محصول با تبادل نظر و هماهنگی کشاورزان و منطبق با برنامه کاشت و برداشت کشاورزان تعیین می‌شود.
- زمان نمونه‌گیری هنگام تکمیل رشد حدود ۹۰ درصد بوته‌ها، قطع شدن آب و به اصطلاح گاورو شدن کل مزارع برای امکان حرکت در مزرعه و برداشت محصول می‌باشد. این زمان با عرف و شرایط محلی تطبیق داده شود.
- بر اساس یکنواختی کشت حداقل ۵ نقطه از هر هکتار به نحوی انتخاب شود که نماینده کل سطح کشت باشد.
- نمونه‌ها از ابتدا و انتهای مزارع انتخاب نشوند و وضعیت مزرعه همچون میزان حاصلخیزی و ماندابی بودن در نظر گرفته شود.

۱- بخشنامه‌ای در این زمینه توسط معاون محترم وزارت نیرو در امور آب و آبفا در تاریخ ۱۳۸۷/۰۲/۰۱ با شماره ۵۷۸۳/۷۰۰ ابلاغ شده است.



- برای اندازه‌گیری وزن محصول باید هر نمونه جداگانه توزین و نتایج با ذکر شماره نمونه، مساحت، رطوبت و میزان ضایعات، ثبت و سپس میانگین‌گیری شده و به عملکرد محصول در سطح یک هکتار تعمیم داده شود.
- روش برداشت محصول (دستی و ماشینی) باید در کاربرگ‌های مشخص ذکر شود.

### ۳-۷-۲- اندازه‌گیری عملکرد محصولات باغی

- اندازه‌گیری محصولات باغی و سردرختی مبتنی بر شناسایی و محاسبه تعداد درختان مثمر بارده در قطعه معین می‌باشد<sup>۱</sup>. درختان نمونه با شناخت نحوه‌ی آرایش کاشت درختان (فاصله ردیف‌های کاشت و فاصله درختان روی ردیف‌ها)، سن و وضعیت باردهی، انتخاب شده و محصول آن‌ها با رعایت موارد زیر اندازه‌گیری شود:
- درختان قطعه مورد نظر، نمونه‌ای از تراکم و وضعیت باردهی درختان در نقاط مختلف باغ باشند.
  - تعداد درختان نمونه باید معادل ۲ درصد کل تعداد درختان یا درختچه‌های باغ مورد نظر بوده به‌نحوی که درختان انتخابی از لحاظ سن، قطر، حجم تاج و باردهی نماینده باغ باشد.
  - برداشت محصول درختان و توزین آن با زمان برداشت محصول توسط باغ‌داران هماهنگ باشد.

### ۳-۷-۳- اندازه‌گیری عملکرد گیاهان ردیفی

- برای اندازه‌گیری محصولات گیاهانی همچون ذرت و چغندر که ردیفی کشت می‌شوند، با در نظر گرفتن فاصله ردیف‌ها و بوته‌ها، تعداد بوته‌ها در واحد سطح (هکتار) محاسبه می‌شود. پس از آن به تعداد ۱۰ تا ۲۰ بوته به عنوان نمونه در هر هکتار کشت یکنواخت انتخاب و عملکرد محصول همچون دانه یا ریشه، براساس میزان رطوبت زمان برداشت و افت رطوبتی تعیین می‌شود.
- زمان برداشت هماهنگ با زمان برداشت محصول توسط کشاورزان منطقه تعیین می‌شود. سپس میانگین عملکرد محصول‌های نمونه محاسبه شده و با ضرب آن در تعداد بوته در هکتار، عملکرد محصول به واحد سطح تعمیم داده می‌شود. اگر در کاشت محصولات ردیفی، بوته‌ها به‌صورت کپه‌ای استقرار داشته باشند، نمونه‌گیری مطابق گیاهان زراعی انجام می‌شود.

### ۳-۷-۴- اندازه‌گیری ضایعات ریزش محصول در هنگام برداشت

- برای اندازه‌گیری ضایعات محصول پس از برداشت بدون از دست دادن زمان به ازای هر مزرعه یک هکتاری تحت کشت محصول سالانه حداقل ۵ نقطه به طور تصادفی انتخاب و با کادری به ابعاد ۱۱۲ سانتی‌متر در ۱۱۲ سانتی‌متر

۱- بهره‌وری آب برای درختان در دوره غیرباردهی محاسبه نمی‌شود.



(۱/۲۵ مترمربع) میزان باقیمانده محصول به عنوان نمونه اندازه‌گیری می‌شود. میانگین وزن محصول (دانه و علوفه) باقیمانده در پنج نقطه با ضرب در عدد ۸۰۰۰ به سطح یک هکتار قابل تعمیم است. در مورد درختان، وزن میوه‌های ریزش یافته در زمان برداشت محصول برای تعدادی از درختان به عنوان نمونه اندازه‌گیری شده و به سطح یک هکتار باغ تعمیم داده می‌شود. عملکرد بالقوه (پتانسیل) برداشت محصول مساوی حاصل جمع میزان عملکرد واقعی محصول به علاوه میزان ضایعات یا ریزش محصول در هر هکتار است.

### ۳-۸- تعیین عمق توسعه ریشه گیاهان

برای محاسبه آب ذخیره شده در خاک پس از آبیاری لازم است عمق توسعه ریشه محصولات اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری عمق توسعه ریشه گیاهان به ویژه در محصولات متراکم و درختان میوه ساده نمی‌باشد. در مورد محصولات زراعی با ریشه کم عمق متناسب با مراحل رشد<sup>۱</sup> می‌توان ۱ تا ۲ روز پس از آبیاری در نقاطی از مزرعه به نحوی که آسیب کم‌تری به کل کشت وارد شود، خاک اطراف ریشه تعدادی (حداقل سه) بوته با احتیاط کنار زد و عمق توسعه ریشه را اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها را تعیین کرد. در مورد درختان میوه که دست‌کاری خاک اطراف ریشه ممکن نمی‌باشد و نیز محصولات زراعی هنگامی که اندازه‌گیری عمق ریشه صورت نپذیرد، می‌توان از اطلاعات مبانی طرح، نتایج مطالعات محلی و تجارب کارشناسی یا جداول پیشنهادی برای عمق توسعه ریشه گیاهان در منابع علمی همچون نشریه آبیاری و زهکشی شماره ۵۶ سازمان خواروبار و کشاورزی (فائو) بهره‌گیری کرد.

### ۳-۹- تعیین سطح کشت محصولات تحت پوشش شبکه

در سال یا فصلی که تعیین بازده آبیاری شبکه آبیاری و زهکشی در دست بررسی باشد، سطح کشت محصولات تحت آبیاری به تفکیک نوع محصول بر مبنای قراردادهای آبیاری با کشاورزان آب‌بر تعیین می‌شود. این ارقام برای اطمینان بیش‌تر با نتایج مساحی تشکیلات بهره‌برداری قابل کنترل است.

### ۳-۱۰- تعیین آب آبخویی در شبکه

در برخی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، آب تحویل شده به کشاورزان آب‌بر علاوه بر نیاز آبیاری محصولات ترکیب کشت، برحسب ضرورت شامل آب مورد نیاز آبخویی و اصلاح خاک نیز می‌باشد. میزان آب آبخویی در صورتی که تحویل آن همراه با نوبت (یا نوبت‌های) آبیاری در فصل زراعی صورت پذیرد، در تعیین بازده آبیاری در نظر گرفته می‌شود. این



۱- مراحل چهارگانه رشد گیاهان در بخش ۴-۶-۲-۱ توصیف شده است.

میزان طبق مبانی طرح آبیاری یا هر رویه جایگزین آن تعیین می‌گردد. بنابراین، تجهیزات و روش‌های تعیین آن در این دستورالعمل ارائه نمی‌شود. البته در تعیین بازده کلی آبیاری در شبکه باید میزان آب تحویل شده برای آبخویی و اصلاح خاک در فصل زراعی نیز در نظر گرفته شود زیرا بخشی از آب تامین شده در شبکه می‌باشد.

بنابراین، بازده کاربرد آب در مزرعه با استفاده از رابطه (۲-۳) برای دو حالت محاسبه شود. در یک حالت، مخرج کسر در رابطه (۲-۳) مساوی مجموع نیازهای آبیاری محصولات و آبخویی باشد و در حالت دیگر فقط آب مورد نیاز آبیاری (بدون نیاز آبخویی) در نظر گرفته می‌شود. مقایسه نتایج، سهم آبخویی را در تغییر میزان بازده کاربرد آب نشان می‌دهد.

### ۳-۱۱- برآورد میزان نشت در نهرها و کانال‌ها

میزان نشت از دیواره و کف نهرها و کانال‌ها در تعیین بازده انتقال و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد نیاز می‌باشد. این نشت تابع عواملی همچون پوشش، ابعاد نهر یا کانال، بده جریان، نحوه اجرا و بهره‌برداری از شبکه است. بهترین روش تعیین نشت، اندازه‌گیری آن در طول مسیر جریان آب می‌باشد. این اندازه‌گیری می‌تواند متناسب با وضعیت نهرها و کانال‌های شبکه در بازه‌های معرف انجام شود.

در صورت عدم اندازه‌گیری مستقیم نشت در نهرها و کانال‌ها به دلایل مختلف، می‌توان میزان نشت را از نتایج اندازه‌گیری در شرایط مشابه برآورد کرد [۱۸]. نشریه آبیاری و زهکشی شماره ۲ سازمان خواروبار و کشاورزی (فائو)، ارقام نشت در کانال‌های بدون پوشش و دارای پوشش برحسب عواملی همچون ظرفیت، سطح مقطع، بده طراحی و مدت بهره‌برداری ارائه کرده که جمع‌بندی نتایج اندازه‌گیری در سطح جهان است [۳۸]. در ضابطه شماره ۲۸۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (سال ۱۳۸۳) با عنوان «ضوابط عمومی طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی» جداول پیشنهادی فائو به همراه اطلاعات بیش‌تر ارائه شده است [۱۸]. تمامی این ارقام نشت، جنبه راهنما دارند و در شرایط مشابه قابل استفاده هستند و تخمینی از مقدار نشت را نشان می‌دهند.



# فصل ۴

---

---

## شبکه اندازه‌گیری





#### ۴-۱- کلیات

اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز تعیین بازده‌های آبیاری و بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در تمامی مسیر انتقال و توزیع آب و مزارع تحت پوشش شبکه برای کل دوره بهره‌برداری مستلزم صرف هزینه و زمان زیاد است. در این فصل نحوه‌ی انتخاب شبکه مکان و زمان اندازه‌گیری این عوامل از محل‌ها و در زمان‌هایی که نماینده و معرف شرایط همگن هستند، ارائه می‌شود.

#### ۴-۲- اهمیت و ضرورت تعیین شبکه اندازه‌گیری

شبکه نقاط اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز در تعیین بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد و بهره‌برداری و بهره‌وری آب آبیاری، مجموعه نقاط و موقعیت‌هایی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی است که با انتخاب آن، تمامی تاسیسات و سطح کشت شبکه پوشش داده می‌شود و داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز کاربران این دستورالعمل تامین می‌گردد. شبکه نقاط اندازه‌گیری تابع عواملی همچون نوع، مشخصات و ترکیب کشت در شبکه می‌باشد.

مجموعه زمان‌های اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز در تعیین بازده‌های آبیاری و بهره‌وری آب در طول مدت بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی، شبکه زمان اندازه‌گیری را تشکیل می‌دهد. این شبکه اندازه‌گیری باید شرایط بهره‌برداری در زمان‌های مختلف را پوشش دهد.

بازه‌های زمانی استفاده از این دستورالعمل به هدف کاربران بستگی دارد. هنگامی که تعیین بازده آبیاری و یا بهره‌وری آب در شبکه آبیاری و زهکشی با هدف تشخیص اقدام‌های اصلاحی مورد نظر باشد، لازم است بررسی‌ها حداقل در یک دوره بهره‌برداری انجام پذیرد. برای ارزیابی میزان اثربخشی اقدام‌های اصلاحی بهتر است در پنج سال اول پس از عملیات بهسازی، بازده آبیاری یا بهره‌وری آب، دست کم در یک دوره بهره‌برداری تعیین شود. تغییر مقدار این شاخص‌ها میزان اثربخشی اقدام‌های اصلاحی را نشان داده و در برنامه‌ریزی‌های آتی و شبکه‌های مشابه قابل بهره‌گیری است. اگر تشکیلات بهره‌برداری مایل به پایش و بررسی روند تغییر بازده آبیاری و بهره‌وری آب در شبکه آبیاری و زهکشی باشد، فاصله زمانی اندازه‌گیری‌ها برحسب امکانات مالی و نیروی انسانی می‌تواند سه تا پنج سال باشد. در شرایط عادی و با رعایت دستورالعمل‌های بهره‌برداری و نگهداری شبکه، اندازه‌گیری‌ها در هر دهه می‌تواند مفید واقع شود. برحسب هدف و سطح تخمین مورد نظر در یک دوره بهره‌برداری، ممکن است اندازه‌گیری فقط در ماه‌های پرمصرف انجام شود.

#### ۴-۳- ضوابط و معیارهای انتخاب شبکه اندازه‌گیری

انجام کامل و دقیق برنامه اندازه‌گیری داده‌های مورد نیاز در تعیین بازده‌های آبیاری مستلزم وجود شبکه اندازه‌گیری فراگیر، منظم و تجهیز شده و در برگیرنده تاسیسات و نقاط کلیدی آبیاری، انتقال، توزیع، تحویل و مصرف آب می‌باشد. این شبکه (نقاط اندازه‌گیری) باید متناسب با مشخصات فیزیکی و فنی و نیازهای مدیریت شبکه آبیاری در مورد آبیاری،



انتقال، توزیع و تحویل آب باشد و تابع دیدگاه‌ها و اهداف کاربران است. با تعیین نقاط نمونه و استفاده از نتایج شبکه اندازه‌گیری مناسب، داده‌هایی دقیق‌تر برای تعیین بازده آبیاری شبکه آبیاری و زهکشی فراهم می‌شود. وجود ضوابط مشخص، اندازه‌گیری‌های مکانی و زمانی را با دقت و هزینه مناسب قابل مقایسه و ارزیابی می‌کند. ضوابط انتخاب نقاط اندازه‌گیری برحسب نوع بازده مورد سنجش و شناخت مجموعه عوامل موثر بر این بازده‌ها شامل مشخصات فیزیکی و فنی شبکه، ضرورت‌های اجرایی و شرایط انجام کار و بهره‌برداری، قابل استخراج و تعیین است. شبکه نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری باید براساس ضوابط زیر تعیین شود:

- تاسیسات آبی موجود بخشی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی بوده و بازده‌های آبیاری در آن قابل تعیین باشد.
- نوع منابع آب (سطحی و یا زیرزمینی) و انواع شبکه آبیاری و زهکشی ثقلی، تحت فشار (پرفشار و کم‌فشار)، مدرن، نیمه‌مدرن و سنتی در نظر گرفته شود.
- مشخصات فیزیکی و سازه‌ای تاسیسات آبی شبکه آبیاری و زهکشی در نظر گرفته شود.
- نوع و مشخصات سامانه‌های کنترل و تنظیم جریان و سطح آب و روش آبیاری در نظر گرفته شود.
- شرایط نگهداری و تعمیرات تاسیسات مورد توجه باشد.
- متناسب با مشخصات خاک و زمین تحت پوشش شبکه آبیاری باشد.
- نوع و دوره رشد محصولات ترکیب کشت در نظر گرفته شود.
- به عوامل و شرایط بهره‌برداری و محیطی توجه گردد.
- عوامل سازمانی و مدیریتی بهره‌برداری و نگهداری در شبکه در نظر گرفته شود.

نظر به جامعیت این دستورالعمل، دسته‌بندی نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در تعیین بازده آبیاری برای جامع‌ترین نوع، مشخصات و وضعیت بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی ارائه شده است. کاربران برحسب اهداف و مشخصات شبکه مورد نظر می‌توانند نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری را با استفاده از این دسته‌بندی‌ها و متناسب با نوع و تعداد (فراوانی) و وضعیت بهره‌برداری و نگهداری کانال‌ها، لوله‌ها، سازه‌ها، تجهیزات، محصولات کشت شده و روش‌های آبیاری در محدوده شبکه به نحوی انتخاب کنند که تمام شبکه آبیاری و زهکشی پوشش داده شود.

#### ۴-۴- دسته‌بندی نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری

نقاط و بازه‌های نمونه و معرف برای اندازه‌گیری داده‌ها و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در تعیین بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد و بهره‌برداری با توجه به نقاط ورودی و خروجی آب در فرآیند انتقال، توزیع و کاربرد در مزرعه و محل‌های تحویل آب انتخاب می‌شوند. این نقاط و بازه‌ها برای شبکه‌های آبیاری و زهکشی برحسب مدرن، نیمه‌مدرن، سنتی و نوع و مشخصات شبکه فرعی (شبکه توزیع) قابل تعیین می‌باشند. این نقاط و بازه‌ها نماینده‌ی گروه‌های همگن هستند. در ابتدا، محدوده (مکانی) برای اندازه‌گیری‌ها و دسته‌بندی مشخصات اجزا و تاسیسات، نواحی، واحدهای عمرانی و واحدهای

آبیاری شبکه تعیین شده و پس از آن نقاط ورودی (مبدا)، نقاط و بازه‌های نمونه از شرایط و سازه‌های همسان، محل‌ها و سازه‌های خاص، مزارع و قطعات زراعی معرف مشخص می‌شود.

#### ۴-۴-۱- نقاط ورودی و خروجی آب در شبکه

به منظور تعیین موازنه آب ورودی و خروجی (تحویل شده و مصرف شده) در شبکه آبیاری و تاسیسات وابسته، لازم است نقطه یا نقاط ورودی و خروجی (انشعاب‌های زراعی) یا خروجی‌های جریان (انشعاب‌های غیرزراعی تخلیه‌کننده‌ها و زهکش‌ها) در شبکه شناسایی شوند و در فهرست و برنامه‌های اندازه‌گیری قرار گیرند.

#### ۴-۴-۱-۱- نقاط ورودی

##### الف- نقاط تحویل آب از مخازن و منابع تامین

در شبکه اندازه‌گیری بازده آبیاری، نقاط تحویل آب از مخازن و محل ورودی آب به شبکه‌های اصلی و مزرعه (فرعی) اولین و مهم‌ترین نقاط هستند. نقاط مبدا (ابتدایی یا ورودی جریان) به شبکه به عنوان نقطه شروع بازه‌های اندازه‌گیری در تعیین بازده انتقال در نظر گرفته می‌شود. در صورت وجود تجهیزات اندازه‌گیری مناسب در موقعیت‌های آبیاری شبکه آبیاری از مخازن و منابع تامین، این نقاط به عنوان مبدا بازه‌های اندازه‌گیری محسوب می‌شوند. غیر از این حالت، باید نسبت به تجهیز نزدیک‌ترین محل خروجی آب از منبع یا تاسیسات رابط به وسایل اندازه‌گیری اقدام شود. نقاط تحویل از منبع در دو سامانه آبیاری سطحی و تحت فشار به صورت زیر است:

- خروجی سد مخزنی (دریچه یا شیر آبیاری، ابتدای کانال)،
- خروجی سد یا بند انحرافی (دریچه یا دریچه‌های آبیگر، ابتدای کانال)،
- خروجی ایستگاه پمپاژ (آبیگری از رودخانه، مخازن، حوضچه‌های آبیگر و چاه‌ها)،
- دهانه‌های آبیگر در شبکه و تاسیسات مدرن (کانال‌ها و لوله‌ها)،
- تاسیسات انحراف آب در شبکه نیمه‌مدرن، و
- دهانه آبیگر سنتی یا آب‌بندان و تالاب آب در شبکه سنتی.
- به ازای هر دسته از نقاط تحویل یا ورودی آب در شبکه که مشابه می‌باشند، یک نقطه به عنوان معرف انتخاب می‌شود.

##### ب- نقاط ورودی در شبکه کانال‌ها و خطوط لوله اصلی

نقاط اندازه‌گیری در ورودی شبکه اصلی آبیاری ثقلی و تحت فشار متناسب با نواحی و واحدهای عمرانی طرح به طوری که برای نواحی و واحدهای عمرانی مشابه، یک نمونه به صورت زیر انتخاب شود:

- ابتدای کانال‌های اصلی یا درجه یک (مشترک با نقطه تحویل از منبع)،
- ابتدای خطوط اصلی آبیگری از منبع، و



- ابتدای انشعاب‌های اصلی، کانال‌ها و خطوط لوله آبرسان.
- به ازای هر دسته مشابه و همگن از نقاط تحویل یا ورودی آب یک نقطه به عنوان معرف انتخاب می‌شود.

#### ۴-۱-۲- نقاط خروجی

#### الف - سردهانه‌ها و انشعاب‌های خروجی از سامانه‌های تامین آب و مجاری تغذیه (رابط)

- سردهانه‌های واقع در مسیرهای انتقال طبیعی (رودخانه‌ها و مسیل‌ها)<sup>۱</sup>، و
- انشعاب و دهانه آبخیز مجاری برداشت‌های آب غیرزراعی.

#### ب - شبکه آبیاری ثقلی

- سرریزهای جانبی در مسیر
- سازه‌های تخلیه انتهایی بر روی:
  - کانال یا نهر اصلی،
  - کانال‌ها یا نهرهای درجه یک و دو، و
  - کانال‌های آبرسان.

#### ج - شبکه آبیاری تحت فشار

- شیر تخلیه‌کننده آب و یا فشار در مسیر
- تخلیه‌کننده‌های انتهایی شامل:
  - خطوط لوله شبکه اصلی،
  - خطوط لوله شبکه فرعی، و
  - بال‌ها (لترال‌ها).

#### د - شبکه زهکشی

- زهکش اصلی،
- زهکش‌های درجه یک و دو،
- زهکش مزارع (درجه سه یا جمع‌کننده‌ها)، و



۱- انشعاب‌ها و دهانه‌های آبخیز مجاری برداشت‌های آب زراعی

- زهکش‌های طبیعی.
- به ازای هر دسته از نقاط خروجی آب در شبکه که مشابه و همگن می‌باشند، یک نقطه معرف انتخاب می‌شود. نقاط و بازه‌های قابل انتخاب برای اندازه‌گیری جریان آب ورودی و خروجی در مجموع شبکه‌های اصلی و فرعی آبیاری در جدول (۴-۱) نشان داده شده است.

جدول ۴-۱ - بازه‌های قابل انتخاب برای اندازه‌گیری جریان آب ورودی و خروجی در هر دو شبکه اصلی و فرعی آبیاری

موقعیت یا محل اندازه‌گیری	وضعیت یا شرایط	سامانه و تاسیسات آبیاری		
		تقسیمات	نوع	
دریچه آبیگیر / ابتدای کانال		خروجی سد مخزنی	مخزن یا منبع تامین آب	
دریچه آبیگیر / ابتدای کانال		خروجی سد یا بند انحرافی		
خروجی حوضچه	پمپاژ از چاه‌ها	ایستگاه‌های پمپاژ		
	آبیگیری از مخازن ذخیره			
	آبیگیری از رودخانه			
پمپ کنتر یا دهانه خروجی / دریچه آبیگیر	در مسیرهای انتقال طبیعی (رودخانه‌ها و مسیل‌ها)	دهانه‌های آبیگیر و انشعاب‌های مجاری رابط	شبکه اصلی	
	انشعاب و دهانه آبیگیر مجاری (برداشت آب غیرزراعی)			
دریچه آبیگیر	کانال اصلی / کانال درجه یک / کانال درجه دو	ابتدای کانال‌های اصلی یا درجه یک (مشترک با نقطه تحویل از منبع)		
پمپ / دریچه آبیگیر / کنتر	خط اصلی / خط نیمه اصلی	ابتدای خطوط اصلی آبیگیری از منبع		
دریچه آبیگیر		ابتدای انشعاب‌های اصلی و آبرسان		
دریچه آبیگیر	در مسیرهای انتقال طبیعی (رودخانه‌ها و مسیل‌ها)	سردخانه‌ها و انشعاب‌های خروجی مجاری اصلی انتقال		نقاط خروجی فرعی
	انشعاب‌ها و دهانه‌های آبیگیر مزارع و کانال‌ها			
سرریز (بتنی، سنگی و غیره) / دریچه کشویی / لوله	آبیگیرها و سرریزهای انتهایی	شبکه آبیاری ثقیلی (جریان آزاد)		
خروجی سرریز (بتنی، لوله)	سرریزهای جانبی			
شیر کشویی	تخلیه‌کننده انتهایی لوله‌های اصلی	شبکه آبیاری تحت فشار		
	تخلیه‌کننده انتهایی لوله‌های مزارع			
	شیر تخلیه آب			

#### ۴-۴-۲- انتخاب نقاط و بازه‌های نمونه در شبکه اصلی آبیاری برای تعیین بازه انتقال

فرآیند انتقال آب از مخزن یا منبع تامین، شروع شده و تا ابتدای شبکه فرعی ادامه دارد. این جریان در شبکه اصلی آبیاری صورت می‌پذیرد که شامل مجاری (اصلی) درجه یک و دو، سازه‌های هیدرولیکی همسان یا خاص و در صورت لزوم کانال یا لوله آبرسان یا رابط است. نقاط ابتدایی یا ورودی آب به شبکه اصلی علاوه بر آن که محل‌هایی برای اندازه‌گیری کل میزان آب تامین شده و ورودی به شبکه آبیاری و زهکشی است، می‌تواند به طور مشترک به عنوان نقاط شروع بازه‌های اندازه‌گیری داده‌ها و جمع‌آوری اطلاعات برای تعیین بازه انتقال محسوب شود.

نقاط و بازه‌های نمونه برای اندازه‌گیری داده‌ها و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز تعیین بازه انتقال برحسب اجزای شبکه اصلی آبیاری انتخاب می‌شوند. بازه‌های انتخابی در کانال‌ها یا لوله‌ها باید معرف خصوصیات عمومی کانال یا لوله هم درجه خود بوده و از نظر دسترسی، طول، امکان کنترل جریان در آن در مدت اندازه‌گیری مناسب باشد. سازه‌های هیدرولیکی همسان یا خاص انتخاب شده نیز باید معرف سازه‌های موجود باشند. در انتخاب بازه‌ها و نقاط معرف باید شرایط متفاوت بهره‌برداری پوشش داده شود.

## ۴-۲-۱- کانال یا لوله آبرسان و رابط و سازه‌های خاص آن

## الف- کانال یا لوله آبرسان و رابط

در برخی شبکه‌های اصلی آبیاری و زهکشی، کانال‌ها یا لوله‌های آبرسان یا رابط برحسب نیاز طراحی و اجرا شده‌اند. در این شبکه‌ها محل‌های ورود آب به مجاری آبرسان نقاط مبدا محسوب می‌شوند و به همراه نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری ثانویه در مسیرهای جریان بخشی از شبکه اندازه‌گیری داده‌ها و جمع‌آوری اطلاعات برای تعیین بازده انتقال آب را تشکیل می‌دهند. کانال‌ها یا لوله‌های رابط که برحسب ضرورت در برخی شبکه‌های اصلی طراحی و اجرا شده‌اند، بخشی از شبکه انتقال آب محسوب شده و متناسب با نوع و طول بازه‌هایی نیز در آن‌ها مشخص می‌شوند.

مجاری آبرسان یا رابط ممکن است به لحاظ نوع (کانال یا لوله)، طول، جنس، شکل مقطع و سازه‌های واقع بر مسیرها و شرایط بهره‌برداری متفاوت باشند. در این شرایط طول کانال یا لوله آبرسان یا رابط با کل شبکه مقایسه می‌شود و در صورت لزوم، برای هر مشخصه یک نمونه انتخاب می‌شود. دسته‌بندی کانال‌ها یا لوله‌ها برای تعیین بازه نمونه به شرح زیر است:

- کانال برحسب نوع مقطع به صورت زیر:

- کانال با مقطع دوزنقه، یک بازه
- کانال با مقطع غیردوزنقه، یک بازه
- زیرگذر، یک بازه و
- ناو<sup>۱</sup>، یک بازه.

- کانال بتنی، برحسب پوشش و وضعیت عمومی آب‌بندی در محل اتصال قطعات کانال، نشئت آب در مسیر جریان (میزان سلامت و درجه تخریب و فرسایش)، برای هر وضعیت یک بازه،
- کانال خاکی، برحسب فرسایش (تخریب یا تغییر شکل)، رسوب‌گذاری و تراکم علف هرز (بدون رسوب یا پوشش گیاهی / وجود رسوب یا علف‌های هرز و درختچه‌ها با توجه به تراکم آن)، برای هر وضعیت یک بازه،
- کانال سنگی برحسب آب‌بندی، رسوب‌گذاری و تراکم علف هرز، برای هر وضعیت یک بازه،
- رودخانه‌ها و مسیرهای طبیعی، برحسب میزان نفوذپذیری (خیلی سریع: بیش‌تر از ۲۵ سانتی‌متر بر ساعت، سریع: ۶ تا ۲۵ سانتی‌متر بر ساعت، متوسط: ۲ تا ۶ سانتی‌متر بر ساعت و آهسته و خیلی آهسته: کم‌تر از ۲ سانتی‌متر بر ساعت)<sup>۲</sup> تخلیه و تغذیه سفره سطحی از رودخانه، برای هر کدام یک بازه،

1- Flume

۲- برحسب تقسیم‌بندی ارائه شده در نشریه «راهنمای طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری» موسسه تحقیقات خاک و آب [۳۱].



- خطوط لوله، با مقایسه نتایج اندازه‌گیری آب در ابتدا و انتهای مسیر یا برحسب وجود شواهدی از نشت در حوضچه‌های شیرآلات و سطح خاک، در هر محل دارای نشت، یک اندازه‌گیری،
  - کانال برحسب ظرفیت یا بده جریان آب برای هر وضعیت حداقل، متوسط و حداکثر با توجه به برنامه تحویل آب، هر کدام یک بازه،
  - کانال‌ها و لوله‌ها برحسب وضعیت هیدرولیکی تا برقرار بودن شرایط یکنواخت یک بازه نمونه ولی در صورت تغییر وضعیت ظاهری جریان و یا وجود شواهدی از نشت، برای هر وضعیت یک بازه.
- یادآوری: در تعیین تعداد بازه‌ها، باید مشخصه‌های بیان شده در بالا با هم تجمیع یا ترکیب شود تا حداقل تعداد ممکن انتخاب گردد. به طور مثال هنگامی که یک بازه برحسب پوشش و سطح مقطع کانال انتخاب می‌شود، اندازه‌گیری آب در آن برای یکی از حالات وجود جریان حداقل، متوسط یا حداکثر صورت می‌پذیرد. این بازه می‌تواند نمونه‌ای از شرایط یکنواختی جریان، وجود علف هزر یا تخریب مسیر نیز باشد. اندازه‌گیری آب در این بازه باید در برنامه زمانی اندازه‌گیری‌ها قرار گیرد که برای یک دوره بهره‌برداری پیش‌بینی شده است.

#### ب- سازه‌های خاص

سازه‌های خاص دارای ابعاد بزرگ بوده و به دلایل فنی و اقتصادی در مسیر عبور شبکه اصلی از رودخانه‌ها، شهرها، روستاها، دامنه کوه‌ها و همانند آن‌ها احداث می‌شوند. نظر به اهمیت کنترل وضعیت پایداری، ممکن است اندازه‌گیری میزان جریان ورودی و خروجی جهت تعیین سهم این سازه‌ها در نشت آب مورد نظر باشد. در این صورت برای هر کدام از موارد زیر یک بازه اندازه‌گیری انتخاب می‌شود:

- مجاری سرپوشیده بزرگ همچون تونل، سیفون و کانال زیرگذر (کالورت): در بالادست و پایین‌دست،
- آبشار<sup>۱</sup>: در بالادست و پایین‌دست<sup>۲</sup>،
- تندآب<sup>۳</sup>: در بالادست و پایین‌دست<sup>۴</sup>،
- مخازن ذخیره‌ای (به شکل کانال / حوضچه): در محل‌های ورودی و خروجی.

در صورت اطمینان از پایداری و سلامت وضعیت فیزیکی و فقدان نشت غیرمعمول در این سازه‌ها، می‌توان نشت آب در یک دوره بهره‌برداری را به طور نمونه تعیین و از تکرار اندازه‌گیری در زمان‌های مختلف پرهیز کرد.

1- Drop

3- Chute

۲- بهتر است اگر تخریبی مشاهده شد، به عنوان یک بازه اندازه‌گیری انتخاب گردد.

۴- در صورت مشاهده تخریب، یک بازه اندازه‌گیری انتخاب شود.



## ۴-۲-۴-۲- شبکه اصلی آبیاری ثقلی

در شبکه‌های اصلی آبیاری بدون مجاری آبرسان، محل‌های ورود آب به کانال‌ها یا لوله‌های درجه یک نقاط مبدا اندازه‌گیری‌ها برای تعیین بازده انتقال آب محسوب می‌شوند. این محل‌ها- که اطلاعات میزان آب تامین شده برای شبکه نیز در آن به دست می‌آید- به همراه نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری ثانویه انتخابی در مجاری یک و دو، شبکه اندازه‌گیری در تعیین بازده انتقال آب را تشکیل می‌دهند. بازه‌ها و نقاط اندازه‌گیری در کانال‌های درجه یک و دو به نحوی انتخاب و تعیین می‌شوند که شامل نقطه مبدا برای اندازه‌گیری آب ورودی به کانال یا لوله درجه یک و دو و نقطه ثانویه برای اندازه‌گیری آب خروجی باشند.

برحسب مواردی همچون جنس، نوع و شکل مقطع و سازه‌های واقع بر مسیرها و شرایط بهره‌برداری، تعداد بازه‌ها در مجاری آبیاری درجه یک و دو به صورت زیر تعیین می‌شوند:

- کانال بتنی برحسب وضعیت رسوب پوشش و درزبندی (سالم/ معیوب/ تخریب و فرسایش) هر کدام یک بازه،
- کانال خاکی برحسب وضعیت پوشش (سالم/ معیوب/ تخریب و فرسایش)، رسوب‌گذاری، تراکم علف هرز و درختچه‌های روییده در کانال (بدون رسوب یا بدون پوشش گیاهی/ وجود رسوب یا وجود پوشش گیاهی و با توجه به تراکم آن‌ها) هر کدام یک بازه،
- کانال سنگی برحسب وضعیت آب‌بندی، رسوب‌گذاری و تراکم علف هرز، هر کدام یک بازه،
- خطوط لوله، با مقایسه نتایج اندازه‌گیری آب در ابتدا و انتهای مسیر یا برحسب وجود شواهدی از نشت در حوضچه‌های شیرآلات و سطح خاک، در هر محل دارای نشت، یک اندازه‌گیری،
- ناو و مجرای سرپوشیده (باکس)، یک بازه،
- کانال برحسب تغییر ظرفیت یا بده جریان<sup>۱</sup>، هر کدام یک بازه، و
- سازه‌ها و تجهیزات معمول در شبکه همچون آبگیرها، سرریزها، دریچه‌ها و اتصالات برحسب شواهدی از نشت، از هر نوع یک بازه.

## ۴-۲-۴-۳- شبکه اصلی آبیاری تحت فشار

شبکه اصلی آبیاری تحت فشار شامل لوله‌های آبرسان (در صورت لزوم)، اصلی و لوله‌های نیمه‌اصلی می‌باشد [۲۱].

نقاط مبدا برای اندازه‌گیری آب ورودی به شبکه اصلی آبیاری تحت فشار به شرح زیر است:

- ابتدای خطوط لوله آبرسان (مشترک با نقطه تحویل از منبع) در صورت وجود، و

۱- برای حداقل، متوسط و حداکثر بده جریان با در نظر گرفتن تغییرات جریان در طول فصل بهره‌برداری و نیز برای هر ۱، ۲ و ۳/۵ برابر شدن جریان، یک نوبت اندازه‌گیری انجام می‌شود. برای تفاوت جریان ۵۰ درصد یا بیش‌تر در مجاری که سایر مشخصات آن‌ها مشابه و همگن است، هر کدام یک بازه اندازه‌گیری انتخاب می‌شود.



- ابتدای خطوط لوله اصلی و نیمه‌اصلی.

به ازای هر دسته از نقاط ورودی آب در شبکه که مشابه و همگن می‌باشند، یک نقطه معرف انتخاب می‌شود. بازه‌های قابل انتخاب برای اندازه‌گیری جریان آب ورودی و خروجی در شبکه اصلی آبیاری تحت فشار در جدول (۴-۲) ارائه شده است. نقاط خروجی شبکه اصلی تحت فشار با نقاط ورودی آب به شبکه فرعی مشترک می‌باشند.

جدول ۴-۲- بازه‌های قابل انتخاب برای اندازه‌گیری جریان آب ورودی و خروجی در شبکه اصلی آبیاری

موقعیت یا محل اندازه‌گیری	وضعیت یا شرایط	سامانه یا تاسیسات آبیاری	
		تقسیمات	نوع
ابتدا و انتهای بازه انتخابی	وضعیت پوشش و درزبندی (سالم/ معیوب/ تخریب شده)	رابطه اصلی	کانال بتنی
	وضعیت رسوب، پوشش گیاهی (وجود علف هرز/ رشد کامل آن)		کانال خاکی
	وضعیت آب‌بندی، پوشش گیاهی و رسوب		کانال سنگی
	نفوذپذیری (کم/ متوسط/ زیاد) و ارتباط با سفره سطحی (تخلیه / تغذیه)		رودخانه‌ها و مسیرهای طبیعی
	برحسب طول، جنس و سایر مشخصات		خط لوله
	با طول‌هایی بیش‌تر از عرض جاده‌ها، خطوط آهن		زیرگذرهای طولانی
	با طول بیش‌تر از ۱۰ متر		ناو و مجرای سرپوشیده
	ظرفیت یا میزان بده جریان (حداقل/ متوسط/ حداکثر) طول / مقطع		کانال
ورودی و خروجی		سازه‌های خاص	تونل
	لوله‌ای / مقطع مستطیل		سیفون
	ناو / دوزنقه / ...		آبشار
			کانال کالورت
			تندآب
			مخازن ذخیره‌ای
ابتدا و انتهای بازه انتخابی	شبکه اصلی برحسب وضعیت پوشش و درزبندی (سالم/ معیوب/ تخریب شده)	شبکه اصلی آبیاری روباز	کانال بتنی
	درجه دو برحسب وضعیت پوشش و درزبندی (سالم/ معیوب/ تخریب شده)		
	لترال یا آبرسان برحسب وضعیت پوشش و درزبندی (سالم/ معیوب/ تخریب شده)		
	درجه و مشخصات مقطع، پایداری و کیفیت بستر و شرایط زهکشی زمین‌های مجاور	کانال خاکی	
	وضعیت رسوب و یا وضعیت پوشش گیاهی علف‌های هرز	کانال سنگی	
	وضعیت آب‌بندی/ پوشش گیاهی/ رسوب	ناو و مجرای سرپوشیده	
	وضعیت آب‌بندی و نشت	کانال	
	ظرفیت یا میزان بده جریان (حداقل/ متوسط/ حداکثر)		
ابتدا و انتهای خط لوله	تفاوت در قرائت کنتورها و یا شواهدی از نشت در اتصالات و یا سطح خاک	شبکه اصلی آبیاری تحت‌فشار	خط لوله آبرسان یا رابط
			خط لوله اصلی
			خط لوله نیمه‌اصلی



#### ۴-۳-۳- انتخاب نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری در شبکه فرعی آبیاری برای تعیین بازده توزیع

##### ۴-۳-۱- نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری در شبکه فرعی آبیاری ثقلی

با بهره‌گیری از تعاریف و توضیحات ارائه شده در مورد شبکه فرعی آبیاری در منبع مورد استفاده شماره [۷] مشخص می‌شود که کانال‌های خاکی یا بتنی مستقل از ظرفیت و ابعاد، با شرایط زیر بخشی از شبکه فرعی آبیاری ثقلی با جریان آزاد هستند که آب را توزیع می‌کنند:

- کانال درجه سه یا کانال توزیع که آب را از شبکه انتقال دریافت می‌کند و آن را به یک واحد درجه سه می‌رساند. کانال درجه سه به طور معمول اولین کانالی است که آبیاری (برای مصرف گروهی) و گاهی نیز آب‌بر (برای حالت آبدهی مستقیم به کشاورزان منفرد) مجاز به برداشت آب می‌باشد.
- کانال درجه چهار به طور معمول آب را از کانال توزیع (درجه سه) دریافت می‌کند و آن را به یک یا چند قطعه زراعی تحویل می‌دهد. این کانال توسط آب‌بران یک قطعه زراعی به طور گروهی و متناوب استفاده می‌شود. مشخصات و تعداد بازه‌های اندازه‌گیری انتخاب شده در شبکه فرعی آبیاری به شرح زیر است:
- کانال درجه سه، برحسب وضعیت پوشش، نوع، تعداد یا تراکم سازه‌ها و تجهیزات تقسیم آب، هر کدام یک بازه،
- ابتدای کانال درجه چهار (بتنی و خاکی) برحسب نوع پوشش و وسعت زمین‌های آبخور، هر کدام یک بازه، و
- انهار سنتی اصلی و فرعی (همسان با کانال درجه سه و درجه چهار)، هر کدام یک بازه.

##### ۴-۳-۲- نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری در شبکه فرعی آبیاری تحت فشار

در شبکه‌های فرعی آبیاری تحت فشار، خطوط لوله توزیع‌کننده یا آبده (مانیفولد) و بال‌ها (لترال‌ها) آب را توزیع می‌کنند. نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری در شبکه فرعی آبیاری تحت فشار به شرح زیر می‌باشد:

- ابتدای مسیر خط لوله توزیع‌کننده برحسب موارد زیر:
  - روش آبیاری (بارانی، موضعی و کم‌فشار)، هر کدام یک بازه،
  - نوع جابه‌جایی (روی سطح، جابه‌جایی متناوب و متحرک دائم)، هر کدام یک بازه،
  - قابلیت جابه‌جایی (ثابت، نیمه ثابت، متحرک، نیمه متحرک)، هر کدام یک بازه، و
  - میزان فشار کارکرد (کم / زیاد)، هر کدام یک بازه<sup>۱</sup>.
- محل یا نقاط خروجی (برحسب نوع تجهیزات و لوازم پخش یا پاشش آب)، هر کدام یک نقطه یا یک بازه

۱- برای در نظر گرفتن میزان فشار کارکرد، در مزارع آبیاری موضعی: برای فشار تا ۲ اتمسفر یک بازه و بیش‌تر از آن نیز یک بازه و در مزارع آبیاری بارانی: برای فشار تا ۴ اتمسفر یک بازه و برای بیش‌تر از آن نیز یک بازه به عنوان نمونه انتخاب شود.



بازه‌های قابل انتخاب برای اندازه‌گیری جریان آب ورودی و خروجی در شبکه فرعی در جدول (۴-۳) نشان داده شده است.

#### ۴-۴-۴- انتخاب نقاط و بازه‌های اندازه‌گیری در تعیین بازه بهره‌برداری

در حال حاضر شبکه‌های آبیاری ثقلی دارای کانال‌ها با وسعت متفاوت هستند. آرایش و جانمایی شبکه و موقعیت استقرار هر یک از کانال‌های تغذیه شونده و مزارع زیردست، انواع سازه‌های آب‌بند و آبگیر، روش‌های مختلف انتقال و توزیع، چگونگی عملیات تنظیم سازه‌های آب‌بند و آبگیر و میزان مهارت و تجربه کارکنان بهره‌برداری موجب تفاوت در منابع و میزان آبی است که در فرآیند انتقال از دسترس شبکه خارج می‌شود.

خروج آب مازاد بر نیاز از شبکه انتقال و توزیع ممکن است به صورت یکنواخت و یک‌پارچه در تمام نقاط مشابه وجود نداشته باشد، باید مجموعه نقاط تحویل آب (به مزرعه یا قطعات کوچک‌تر) که فعال بوده و نیز محل سرریز شدن آب (از کانال و سازه‌ها خصوصاً سازه‌های سرریز) شناسایی و انتخاب شوند. سپس میزان آبی که در این نقاط از دسترس شبکه خارج شده، اندازه‌گیری شود. براساس مجموع این میزان، بازه بهره‌برداری قابل محاسبه است.

جدول ۴-۳- بازه‌های قابل انتخاب برای اندازه‌گیری جریان آب ورودی و خروجی در شبکه فرعی آبیاری

موقعیت یا محل اندازه‌گیری	وضعیت یا شرایط	سامانه		
		نوع	تقسیمات	
ابتدا (خروجی از شبکه اصلی) و انتهای بازه نمونه انتخابی	وضعیت پوشش، نوع، تعداد یا تراکم سازه‌ها و تجهیزات تقسیم آب	کانال درجه سه	شبکه آبیاری ثقلی (جریان آزاد)	
	وضعیت پوشش و وسعت زمین‌های آبخور	کانال درجه چهار		
	همسان با کانال درجه سه و درجه چهار	انهار سنتی (اصلی، فرعی)		
ابتدا و انتهای خط لوله مزرعه و توزیع‌کننده نمونه انتخابی	بارانی، موضعی و کم‌فشار سطحی	روش آبیاری	شبکه آبیاری تحت فشار	
	روی سطح/ جابه‌جایی متناوب/ متحرک دائم	نوع جابه‌جایی		جنس و سایر مشخصات
	ثابت/ نیمه‌ثابت، متحرک/ نیمه‌متحرک	قابلیت جابه‌جایی		فنی لوله
	کم/ زیاد	میزان فشار کارکرد		توزیع‌کننده

با توجه به تعریف، بازه بهره‌برداری تابع مجموع مقادیر تحویل آب مازاد به وسیله شبکه اصلی به شبکه فرعی یا آبگیر مزارع و سرریز شدن آب از سازه‌های سرریز جانبی و انتهایی در شبکه‌های ثقلی و آب تخلیه شده از تخلیه‌کننده‌ها در شبکه‌های تحت فشار می‌باشد. بنابراین:

– در شبکه‌های ثقلی نقاط تعیین میزان آب از دسترس خارج شده جهت محاسبه بازه بهره‌برداری شامل کلیه سرریزهای شبکه و نقاط تحویل آب به شبکه مزارع یا شبکه توزیع است که به طور مستقیم از کانال‌های اصلی، درجه یک و درجه دو تغذیه می‌شوند. لذا تمامی آبگیرهایی که در طی دوره آبیاری دارای جریان مازاد بر تقاضا (نیاز یا برنامه تحویل به هر آبگیر) باشند، مشمول برآورد و تعیین بازه بهره‌برداری می‌شوند که اطلاعات آن با استفاده از آمار و گزارش‌های روزانه تحویل، قابل استخراج می‌باشد.

– در شبکه‌های تحت فشار نقاط تعیین میزان آب از دسترس خارج شده جهت محاسبه بازه بهره‌برداری شامل تمامی نقاط تخلیه‌کننده آب در لوله‌ها می‌باشد.



- در شرایطی که امکان اندازه‌گیری مستمر در کل آبیگرها موجود نباشد، بین نقاط نمونه در شبکه اصلی (انتقال) با توجه به همگنی محدوده، تعدادی نقاط مناسب انتخاب و بازده بهره‌برداری در آن تعیین و به کل شبکه تعمیم داده می‌شود. ملاحظات انتخاب نقاط نمونه در شبکه انتقال آب موارد زیر است:
- محدوده انتخابی بخشی از شبکه اصلی (درجه یک و دو) باشد.
  - برای کانال‌های دارای جریان دائم و متناوب شامل حداقل یک نمونه برای هر جریان باشد.
  - انتخاب بازه در کانال‌های درجه دو و آبرسان ترجیح دارد.
  - تعداد مناسبی از مزارع شبکه (متوسط مزارع تحت پوشش کانال‌های مشابه) در نظر گرفته شود.
  - انشعاب‌های احتمالی روی کانال به طور مستقیم به آبیگر مزرعه یا مزارع منتهی شود.
  - امکان اندازه‌گیری آب تحویلی به کانال‌های تغذیه شده فراهم باشد.
  - امکان اندازه‌گیری یا تخمین میزان جریان خروجی در سرریزهای جانبی و انتهایی موجود در کانال فراهم باشد.
  - کانال دارای برنامه اندازه‌گیری دائمی و یا روزانه باشد.
  - در صورت عدم وجود برنامه اندازه‌گیری دائمی و روزانه، مطابق با تغییرات برنامه و میزان آب تحویلی در شبکه، برنامه اندازه‌گیری پیش‌بینی و اجرا شود.
  - بازه‌های نمونه‌ها برای هر دو جریان دائمی یا متناوب در کانال‌ها انتخاب شود.
  - انواع سازه‌های آب‌بند و آبیگر و چگونگی تنظیم آن‌ها را پوشش دهد.
  - بازه‌های انتخابی از نظر دسترسی، طول بازه و امکان کنترل جریان در آن مسیر در مدت اندازه‌گیری مناسب باشد.
  - به مهارت کارکنان بهره‌برداری (در صورت متفاوت) در دو گروه ضعیف یا مناسب توجه شود.
  - در شبکه‌های تحت فشار، برحسب موقعیت و شرایط تخلیه‌کننده‌ها (میانی و انتهایی)، تفاوت آب ورودی به خط لوله و آب تحویلی به انشعاب‌ها یا تخمین مقادیر آب تخلیه شده، تعیین می‌شود. سپس با محاسبه میزان آبی که از دسترس شبکه خارج شده، بازده بهره‌برداری قابل محاسبه است.

#### ۴-۴-۵- انتخاب مزارع نمونه در تعیین بازده کاربرد آب

شبکه اندازه‌گیری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در تعیین بازده کاربرد آبیاری متشکل از تعدادی مزارع انتخابی بوده که هر کدام نمونه‌ای آماری از مزارع مشابه در کاربرد آب است. با انتخاب مناسب مزارع نمونه، مجموعه داده‌ها می‌تواند شرایط متفاوت آبیاری در محدوده شبکه را به طور کامل‌تری پوشش دهد. در این حالت داده‌های منفرد با اطمینان قابل تعمیم به سطوح مشابه است و برآورد بازده کاربرد آب در شبکه به مقدار واقعی نزدیک‌تر خواهد بود. ولی با افزودن به تعداد مزارع نمونه انتخابی، هزینه، زمان مورد نیاز و مشکلات فرآیند اندازه‌گیری‌ها نیز افزایش می‌یابد. بنابراین انتخاب مزارع نمونه با هدف دستیابی به یک حد متعادل و مناسب از دقت (نتایج) و عملیات قابل انجام، صورت می‌پذیرد.



## ۴-۴-۵-۱- اقلیم

در شبکه‌های بزرگ آبیاری یا در شبکه‌هایی که سطح تحت پوشش پراکنده بوده، ممکن است شرایط اقلیمی متفاوت باشد. بنابراین در اولین گام محدوده‌های اصلی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی با توجه به تفاوت اقلیم (به ویژه دما و بارندگی) در صورت وجود، تعیین و حداقل یک اندازه‌گیری برای هر وضعیت متفاوت انتخاب می‌شود.

## ۴-۴-۵-۲- مشخصات خاک و زمین

بافت، ساختمان، میزان سنگریزه در سطح و نیمرخ، شوری و سدیمی بودن و شرایط زهکشی خاک بر بازده کاربرد آب موثر هستند. طبق استانداردهای جاری، این ویژگی‌ها در مطالعات خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری در نظر گرفته می‌شود. بنابراین سری خاک<sup>۱</sup> (با استفاده از نتایج مطالعات خاک‌شناسی طرح آبیاری و زهکشی) تعیین و مساحت مزارع برحسب دسته‌بندی سری‌ها به عنوان یک کلاس مشخص می‌گردد. اگر مساحت مزارع هر کلاس خاک قابل ملاحظه باشد (دست کم ۲۰ درصد کل آب تأمین شده در شبکه به این دسته از مزارع تحویل شود)، حداقل یک مزرعه نمونه از این کلاس خاک انتخاب و بازده کاربرد آب در آن تعیین و به مزارع مشابه تعمیم داده می‌شود.

ممکن است نتایج مطالعات خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری در دسترس نباشد. در این شرایط اطلاعاتی از بافت خاک‌ها در محدوده تحت پوشش شبکه جمع‌آوری شده و خاک‌ها در سه دسته سبک، متوسط و سنگین بافت دسته‌بندی و برای هر دسته ۱ تا ۳ مزرعه معرف انتخاب می‌شود.

در دشت‌های تحت آبیاری، جریان آب زیرزمینی از بالادست (در صورت عدم کنترل) می‌تواند یک منبع آب ورودی برای زمین‌های پست و مسطح با شیب کم‌تر از پنج در هزار در پایین‌دست باشد [۴]. در این شرایط علاوه بر آبیاری، جریان زیرزمینی رطوبت خاک عمق توسعه ریشه گیاهان را افزایش می‌دهد و بازده کاربرد آب در مزرعه متأثر از این دو منبع خواهد بود. در این حالت بهتر است برای تعیین بازده کاربرد و بهره‌وری آب، مزارع نمونه (معرف) در محدوده متأثر از آب زیرزمینی انتخاب نشود.

## ۴-۴-۵-۳- ترکیب کشت

مزارع نمونه برحسب محصولات ترکیب کشت با رعایت نکات زیر انتخاب می‌شوند:

- آب مورد نیاز آبیاری هر یک از محصولات ترکیب کشت تعیین شود. اگر این میزان دست‌کم ۲۰ درصد آب تحویلی شبکه آبیاری باشد، به عنوان یک گروه مستقل در نظر گرفته و یک مزرعه نمونه برای آن انتخاب شود.
- محصولات کشت اول و دوم در دو گروه جداگانه قرار گیرند و برای هر گروه یک مزرعه نمونه انتخاب شود.



۱- سری‌های خاک در طبقه‌بندی‌های جامع از جمله همگن‌ترین گروه‌ها محسوب می‌شوند.

- به مراحل رشد گیاهان<sup>۱</sup> توجه شود. ممکن است تفاوت تاریخ کشت یا عملیات زراعی (به ویژه برنامه آبیاری) موجب تفاوت در مرحله رشد یک محصول معین شده به نحوی که این مزارع مشابه نباشند. اگر آب تحویل شده به این مزارع دست کم ۲۰ درصد کل آب تامین شده در شبکه را تشکیل دهد، یک نمونه از این مزارع انتخاب شود.
- اگر محصولاتی معیشتی برای مصرف خانوار کشت شود، اگر آب تحویل شده به این محصولات دست کم ۲۰ درصد کل آب تحویلی شبکه باشد، یک مزرعه نمونه از هر محصول انتخاب شود.

#### ۴-۴-۵-۴- روش‌های آبیاری

- روش‌های آبیاری از مهم‌ترین معیارهای انتخاب شبکه اندازه‌گیری برای تعیین بازده کاربرد آب است. بنابراین لازم است به صورت زیر اقدام گردد:
- روش‌های آبیاری با استفاده از گروه‌بندی‌های ارائه شده در نمودار (۴-۱) انتخاب شود.
  - مزارع برحسب میزان بده جریان و طول مدت هر نوبت آبیاری گروه‌بندی شوند. مساحت مزارع هر گروه مشخص گردد. اگر مجموع آب تحویل شده به هر گروه دست کم ۲۰ درصد کل آب تحویلی شبکه را تشکیل دهد، برای هر گروه یک مزرعه نمونه انتخاب شود.

سطحی	بارانی	موضعی	کم فشار (سطحی)
۱- نواری:   با انتهای باز   با انتهای بسته	۱- کلاسیک (غیر مکانیزه): ثابت کلاسیک، ثابت با آبپاش متحرک متحرک، نیمه متحرک شلنگی یا قرقره کوچک، اراپهای با آبپاش بزرگ	۱- قطره‌ای نقطه‌ای خطی	۱- لوله‌های دریچه‌دار
۲- کرتی:   مستطیلی   مربعی	۲- مکانیزه: آبفشان غلطان آبفشان خطی قرقره‌ای دوار مرکزی	۲- آفشانه (اسپریر) ۳- حباب‌ساز (بابلر) ۴- تراوا	
۳- چوپنه‌ای: (جوی و پشته) فاروهای عمیق شیارهای کم عمق			
۴- غرقابی			

نمودار ۴-۱- طبقه‌بندی روش‌های آبیاری در انتخاب مزارع نمونه برای تعیین بازده کاربرد آب [۲۰، ۲۱ و ۲۹]



۱- مراحل چهارگانه رشد گیاهان در بخش ۴-۶-۲-۱ توصیف شده است.

## ۴-۴-۵-۵- قطع‌بندی آبیاری

در زمین‌های تحت پوشش شبکه آبیاری، قطعات آبیاری برحسب ابعاد و مساحت به نحوی گروه‌بندی شوند که تفاوت گروه‌ها حداقل ۲۰ درصد باشد. اگر مجموع آب آبیاری هر گروه دست کم ۲۰ درصد آب تامین شده در شبکه را تشکیل دهد، برای هر گروه حداقل یک مزرعه نمونه انتخاب شود.

## ۴-۴-۵-۶- کیفیت آب آبیاری

آب آبیاری در شبکه ممکن است از منابع با کیفیت متفاوت تامین شود و یا کیفیت آن در طول فصل بهره‌برداری متغیر باشد. در این شرایط برخی محل‌های تحویل آب آبیاری به قطعات زراعی به عنوان نمونه (معرف شرایط مشابه) انتخاب می‌شود. نمونه‌های آب در این نقاط طبق روش استاندارد تهیه و ویژگی‌های کیفی طبق جدول‌های (۴-۴) و (۵-۴) تعیین می‌گردد [۱۰، ۱۳ و ۲۱]. مساحت مزارع تحت آبیاری با منابع مختلف آب براساس کیفیت و روش آبیاری دسته‌بندی می‌شوند. اگر آب آبیاری مصرفی در هر دسته، کیفیت دست کم ۲۰ درصد آب تحویلی به شبکه را تشکیل دهد، یک مزرعه نمونه به عنوان معرف وضعیت آن دسته انتخاب می‌گردد.

جدول ۴-۴- ارزیابی کیفیت آب از نظر محدودیت آبیاری به روش‌های سطحی [۱۰، ۱۳ و ۲۱]

## - اسیدی یا قلیایی بودن و شوری آب

درجه محدودیت			واحد	عامل
شدید	کم تا متوسط	بدون محدودیت		
-	-	۸/۴ تا ۶/۵	-	اسیدی یا قلیایی بودن
> ۳/۰	۰/۷-۳/۰	۰/۷	دسی‌زیمنس بر متر	شوری برحسب هدایت الکتریکی
> ۲۰۰۰	۴۵۰-۲۰۰۰	۴۵۰	میلی‌گرم بر لیتر	شوری برحسب کل مواد جامد محلول

## - درصد جذب سدیم در تلفیق با شوری برحسب دسی‌زیمنس بر متر

درجه محدودیت در تلفیق با شوری			درصد جذب سدیم
شدید	کم تا متوسط	بدون محدودیت	
۰/۲<	۰/۲-۰/۷	> ۰/۷	۰-۳
< ۰/۳	۰/۳-۱/۲	> ۱/۲	۳-۶
< ۰/۵	۰/۵-۱/۹	> ۱/۹	۶-۱۲
< ۱/۳	۱/۳-۲/۹	> ۲/۹	۱۲-۲۰
< ۲/۹	۲/۹-۰/۵	> ۵/۰	۲۰-۴۰



جدول ۴-۵- ارزیابی کیفیت آب از نظر گرفتگی بالقوه گسیلنده‌ها در سامانه‌های آبیاری موضعی [۲۱]

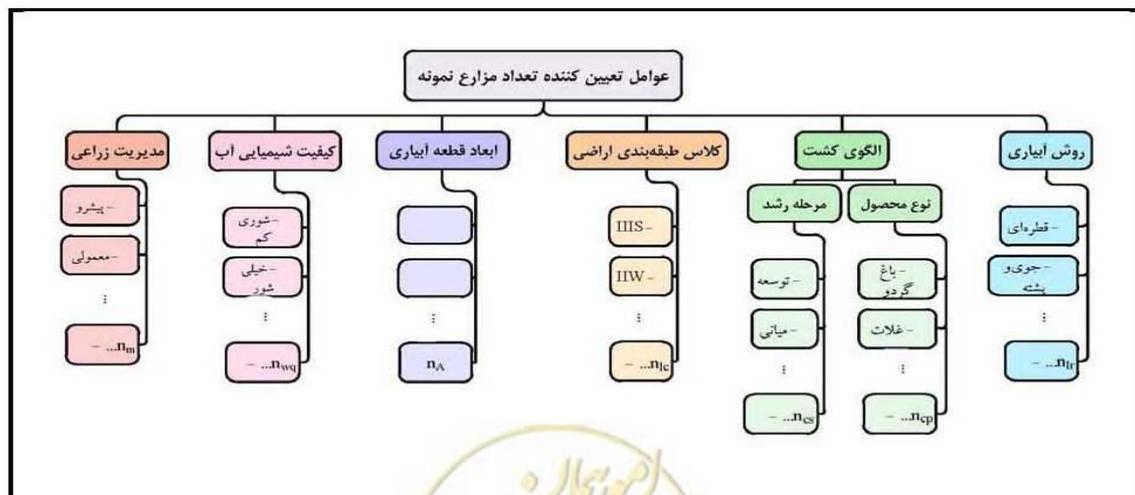
خصوصیات	عامل	واحد	درجه محدودیت استفاده از آب		
			ناچیز	کم تا متوسط	زیاد
فیزیکی	کل مواد جامد معلق	میلی گرم بر لیتر	$< 50$	$50 - 100$	$> 100$
شیمیایی	میزان اسیدی یا قلیایی بودن	-	$7/0$	$7/0 - 8/0$	$> 8/0$
	کل مواد جامد محلول	میلی گرم بر لیتر	$< 500$	$500 - 2000$	$> 2000$
	منگنز	میلی گرم بر لیتر	$< 0/1$	$0/1 - 1/5$	$> 1/5$
	آهن	میلی گرم بر لیتر	$< 0/1$	$0/1 - 1/5$	$> 1/5$
	سولفید هیدروژن	میلی گرم بر لیتر	$< 0/5$	$0/5 - 2/0$	$> 2/0$
زیستی	جمعیت باکتری‌ها	حداکثر تعداد در هر میلی‌لیتر	$< 000,10$	$000,10 - 000,50$	$> 000,50$

#### ۴-۵-۷- سایر عملیات مدیریت زراعی

مدیریت زراعی (مدیریت عملیات آبیاری، خاک‌ورزی، کشت، مصرف کودها و سموم شیمیایی و غیرشیمیایی و سایر موارد موثر بر تولید) بر عملکرد محصول در مزارع تحت پوشش یک شبکه آبیاری و زهکشی به طور معمول متفاوت می‌باشد. بنابراین از جنبه مدیریت زراعی، سه گروه کشاورزان پیشرو، معمولی و ضعیف در نظر گرفته می‌شود. اگر مجموع آب آبیاری تحویلی به مزارع هر دسته حداقل ۲۰ درصد آب تامین شده در شبکه باشد، یک مزرعه نمونه به عنوان معرف آن دسته انتخاب می‌شود.

#### ۴-۵- محاسبه تعداد کل مزارع نمونه در تعیین بازده کاربرد آب شبکه

بر اساس معیارهای بیان شده در بندهای ۴-۵-۴ تا ۴-۵-۷، نقاط نمونه در میان مزارع تحت پوشش شبکه انتخاب می‌شود که در آن داده‌های مورد نیاز برای تعیین بازده کاربرد آب در سطح شبکه اندازه‌گیری و جمع‌آوری می‌گردد. نمودار (۴-۲) برای انتخاب حداقل تعداد مزارع نمونه قابل بهره‌گیری است.



نمودار ۴-۲- عوامل موثر در انتخاب مزارع نمونه برای تعیین بازده کاربرد آب

#### ۴-۶- برنامه زمانی تعیین بازده کلی آبیاری در شبکه

بازده‌های انتقال، توزیع و کاربرد آب آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در یک دوره بهره‌برداری ممکن است متفاوت باشد. برای اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز تعیین بازده (کلی) آبیاری شبکه، برنامه زمانی با هدف افزایش دقت کار پیشنهاد می‌شود. نتایج اندازه‌گیری‌ها طبق این برنامه می‌توانند تغییرات احتمالی بازده آبیاری را با زمان مشخص کنند. تغییرات در صورت وجود در محاسبات تعیین میانگین بازده آبیاری شبکه قابل اعمال خواهد بود. در ادامه برنامه زمانی اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز بازده انتقال، توزیع و کاربرد ارائه می‌شود.

#### ۴-۶-۱- برنامه زمانی تعیین بازده انتقال و بازده توزیع آب در شبکه

برنامه زمانی اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز تعیین بازده انتقال و توزیع می‌تواند متناسب با برنامه آبیاری محصولات تحت پوشش شبکه باشد. بدین منظور نوبت‌های آبیاری در مقاطع زمانی زیر قابل انتخاب است:

- پیش از کاشت (خاک‌آب)،
- بلافاصله پس از کاشت،
- در طی فصل رشد محصولات، و
- غیر از برنامه پیش‌بینی شده برحسب ضرورت.

خاک‌آب و آبیاری پس از کشت هر کدام یک نوبت بوده و قابل انتخاب هستند. در مورد فصل رشد محصولات با توجه به تفاوت نیاز آبی شبکه در این مدت، برنامه زمانی اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها بدین ترتیب است که در ماه‌های حداقل و حداکثر مصرف هر کدام یک نوبت انتخاب می‌شود. برنامه زمانی اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز تعیین بازده انتقال و توزیع آب در شبکه باید به نحوی تنظیم شود که شرایط متفاوت یک دوره بهره‌برداری نشان داده شود و میانگین قابل تعیین باشد.

#### ۴-۶-۲- برنامه زمانی تعیین بازده کاربرد آب

برنامه زمانی اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای تعیین میانگین بازده کاربرد آب در یک فصل زراعی، برحسب برنامه آبیاری محصولات تحت پوشش شبکه تنظیم می‌شود. لذا نوبت‌های آبیاری مشابه در یک فصل زراعی دسته‌بندی شده و برای هر دسته یک نوبت به عنوان نمونه انتخاب می‌شود. پس از آن داده‌های مورد نیاز تعیین بازده کاربرد آب در آن نوبت اندازه‌گیری و جمع‌آوری می‌گردد. میانگین‌گیری (وزنی) از این داده‌ها می‌تواند میانگین بازده کاربرد آب در مزارع تحت پوشش شبکه در یک دوره بهره‌برداری را نشان دهد.



#### ۴-۶-۱- آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاهان

برنامه آبیاری تابع مراحل رشد محصولات می‌باشد. بنابراین اگر مقدار تحویل آب آبیاری در مراحل مختلف رشد محصولات تحت پوشش شبکه متفاوت باشد، لازم است اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز تعیین بازده کاربرد، حداقل در یک نوبت آبیاری صورت پذیرد. این نوبت نمونه‌ای از آبیاری‌های مشابه می‌باشد و تکرار آن می‌تواند دقت نتایج را افزایش دهد. در حال حاضر، محققان فصل رشد گیاهان را به چهار مرحله شامل مراحل آغازین رشد، توسعه گیاه، میانی و پایانی تقسیم کرده‌اند. توصیف این مراحل در مراجع علمی بیان شده است [۲۴ و ۳۲].

مراحل رشد یک محصول معین در تمامی مزارع تحت پوشش شبکه ممکن است به‌دلایلی همچون تفاوت در ارقام کشت شده، تاریخ کشت و مدیریت زراعی یکسان نباشد. به شرط آن که مساحت مزارع دارای این تفاوت قابل ملاحظه باشد<sup>۱</sup>، بهتر است یک مزرعه برای هر نمونه متفاوت انتخاب شود.

#### ۴-۶-۲- آبیاری در سایر مواقع فصل رشد و غیررشد

علاوه بر آبیاری در فصل رشد محصولات، ممکن است برای اهدافی همچون افزایش رطوبت خاک جهت عملیات خاک‌ورزی و تهیه بستر کشت، آبشویی نمک‌های محلول، تهیه خزانه و نشاکاری، حفاظت گیاهان از سرمازدگی یا سرمازدگی، کنترل آفت‌ها (همچون جوندگان) و علف‌های هرز انجام آبیاری مورد نیاز باشد. گرچه ممکن است این آبیاری‌ها بخشی از مصارف آب شبکه آبیاری و زهکشی را تشکیل دهد، ولی با توجه به نحوه محاسبه بازده کاربرد آب که مورد پذیرش محققان است، در تعیین بازده کاربرد آب در مزارع تحت پوشش شبکه قابل اعمال نیست. این نوبت‌ها در برنامه زمانی تعیین بازده انتقال و توزیع می‌تواند در نظر گرفته شود.

یادآوری: برنامه‌های زمانی اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها برای تعیین میانگین بازده انتقال، توزیع و کاربرد آب در شبکه گاه مستقل از یکدیگر است و در برخی موارد نیز هم‌زمان اجرا می‌شود. برای مثال، در مرحله تحویل آب برای خاک‌آب یا بلافاصله پس از کشت، اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها برای تعیین بازده کاربرد آب ضرورت ندارد. درحالی‌که در فصل رشد محصولات، داده‌های مورد نیاز تعیین بازده انتقال، توزیع و کاربرد آب باید هم‌زمان اندازه‌گیری و جمع‌آوری شوند.

#### ۴-۷- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده آبیاری شبکه‌های آبیاری و زهکشی

پس از تعیین بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد آب در مزرعه و بهره‌برداری و نیز بهره‌وری آب در بازه‌ها، نقاط یا مزارع نمونه، داده‌ها و اطلاعات به شرایط مشابه تعمیم داده و بازده شبکه و نیز بازده طرح آبیاری و زهکشی قابل محاسبه می‌باشد.

<sup>۱</sup> - اگر مساحت این مزارع حداقل ۲۰ درصد کل سطح تحت کشت آن محصول در شبکه را تشکیل دهد، سطح قابل ملاحظه محسوب می‌گردد.



#### ۴-۷-۱- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده انتقال و توزیع در شبکه

از آنجا که اندازه‌گیری میزان کلی آبی که در فرآیند انتقال و توزیع از دسترس شبکه آبیاری و زهکشی خارج می‌شود، به لحاظ صرف زمان و هزینه عملی نمی‌باشد، بازه‌هایی در مسیر جریان (در کانال‌های روباز یا پوشیده، و لوله‌های واقع در سطح یا عمق خاک)، نمونه‌هایی از سازه‌ها و تجهیزات متداول احداث و نصب شده در شبکه (محل‌های نشت و خروجی‌های موضعی، محل نصب تجهیزات و اتصالات و غیره) و نمونه‌هایی از سازه‌های و تجهیزات خاص و بزرگ شبکه (همچون زیرگذرها، سیفون‌ها و ناوهای بزرگ) انتخاب می‌شوند. میزان نشت آب در این بازه‌ها و محل‌ها برحسب تفاوت میزان آب ورودی و خروجی اندازه‌گیری می‌گردد. با تعمیم نتایج به‌دست آمده به شرایط مشابه، مقدار کلی آبی که در فرآیند انتقال و توزیع از دسترس شبکه خارج شده، تعیین می‌شود. با استفاده از این داده‌ها و با توجه به میزان آب تامین شده، بازده انتقال و توزیع شبکه آبیاری قابل محاسبه است. مراحل اندازه‌گیری و محاسبه به‌صورت گام‌های زیر انجام می‌شود:

گام اول - در طول مجاری آبیاری که بخشی از شبکه انتقال یا توزیع محسوب شده، بازه‌های معرف شرایط همگن انتخاب می‌شوند. در این بازه‌ها، حجم نشت از بدنه و کف کانال‌ها یا از بدنه لوله‌ها برای هر واحد طول در واحد زمان از رابطه (۴-۱) محاسبه می‌گردد.

$$L_i = (V_{in} - V_{out}) / l_i t_i \quad (۴-۱)$$

که در آن:

$L_i$  = حجم نشت از هر واحد طولی بازه در واحد زمان (مترمکعب بر ثانیه در هر متر یا مترمربع بر ثانیه)،

$i$  = بازه انتخاب شده برای اندازه‌گیری نشت (این بازه‌ها به تعدادی انتخاب می‌شوند که تمامی مشخصات و شرایط

فیزیکی، هیدرولیکی و بهره‌برداری شبکه را در برگیرند)،

$V_{out}$  = حجم آب خروجی از بازه در طول مدت اندازه‌گیری (مترمکعب)،

$V_{in}$  = حجم آب ورودی به بازه در طول مدت اندازه‌گیری (مترمکعب)،

$l$  = طول بازه انتخاب شده (متر)، و

$t$  = مدت اندازه‌گیری (ثانیه)، می‌باشد.

کل میزان نشت از بدنه و کف کانال‌ها یا از بدنه لوله‌ها که در مجموع شبکه انتقال یا شبکه توزیع آب را تشکیل

می‌دهند، از رابطه (۴-۲) برای یک دوره بهره‌برداری برآورد می‌شود.

$$L_1 = 86400 \sum_{i=1}^m L_i X_i T_i \quad (۴-۲)$$

که در آن:

$L_1$  = کل حجم نشت از بدنه و کف کانال‌ها یا از بدنه لوله‌ها در آن بخش از شبکه انتقال یا توزیع که مشابه بازه نمونه

باشد (مترمکعب در دوره بهره‌برداری)،



$i =$  بازه انتخاب شده برای اندازه‌گیری (به تعدادی که در برگزیده تمامی مشخصات و شرایط فیزیکی، هیدرولیکی و بهره‌برداری شبکه باشند)،

$m =$  کل تعداد بازه‌های نمونه در طول مجاری انتقال یا توزیع در برگزیده تمامی مسیرها با شرایط متفاوت،

$L =$  حجم نشت اندازه‌گیری شده در بازه انتخابی از رابطه (۴-۱)، (مترمربع بر ثانیه)،

$X =$  کل طول مجاری مشابه بازه انتخابی که مجموع آن‌ها مساوی کل مجاری شبکه شود (متر)، و

$T =$  دوره بهره‌برداری مجاری مشابه بازه انتخابی (روز)، و عدد  $۸۶۴۰۰$  ضریب تبدیل روز به ثانیه می‌باشد.

در رابطه (۴-۲) میزان نشت در نقاط و محل سازه‌های (همسان یا خاص) و تبخیر سطحی در شبکه و جذب آب توسط علف‌های هرز روییده در مسیر جریان یا آب سرریز شده<sup>۱</sup> در نظر گرفته نشده است. نحوه تعیین این مقادیر به منظور تفکیک انواع هدررفت آب در شبکه در گام‌های بعدی ارائه شده است.

گام دوم- نقاط نمونه از میان سازه‌ها و تجهیزات همسان همچون دریچه‌ها، مقسم‌ها، اتصالات، محل‌های موضعی خروج آب و سایر موارد در صورت وجود نشت انتخاب می‌شوند. میزان نشت در هر یک از این نقاط برحسب تفاوت آب ورودی و خروجی اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه (۴-۳) محاسبه می‌شود.

$$L_j = (V_{in} - V_{out}) / t_j \quad (۳-۴)$$

که در آن:

$L_j =$  حجم نشت در نقاط نمونه (مترمکعب بر ثانیه)،

$V_{out} =$  حجم آب خروجی از سازه که در بالادست اندازه‌گیری شده (مترمکعب در مدت اندازه‌گیری)،

$V_{in} =$  حجم آب ورودی به سازه که در پایین‌دست اندازه‌گیری شده (مترمکعب در مدت اندازه‌گیری)، و

$t_j =$  مدت اندازه‌گیری (ثانیه)، می‌باشد.

نشت کلی از سازه‌ها و تجهیزات همسان در طول یک دوره بهره‌برداری با استفاده از رابطه (۴-۴) برآورد می‌گردد.

$$L_2 = 86400 \sum_{j=1}^n L_j N_j T_j \quad (۴-۴)$$

که در آن:

$L_2 =$  حجم کلی نشت آب از سازه‌ها، تجهیزات و محل‌های موضعی خروج آب واقع در شبکه (مترمکعب در دوره

بهره‌برداری)،

۱- در اندازه‌گیری نشت در بازه انتخابی اغلب سهم تبخیر سطحی و جذب آب توسط علف‌های هرز قابل اغماض است. سرریز شدن آب نیز ممکن است رخ ندهد. اگر برحسب تجربه و سوابق بهره‌برداری احتمال سرریز شدن آب وجود داشته باشد، بهتر است برای اندازه‌گیری آن اقداماتی صورت پذیرد.



$z$  = محل نمونه برای اندازه‌گیری نشت (به تعدادی که برای هر نوع از سازه‌ها، تجهیزات یا محل‌های موضعی خروج آب نمونه‌ای انتخاب شده باشد، از ۱ تا  $n$ )

$L$  = حجم نشت اندازه‌گیری شده در محل نمونه (مترمکعب بر ثانیه)،

$N$  = تعداد هر نوع از سازه‌ها، تجهیزات یا محل‌های موضعی خروج آب مشابه با نمونه که در آن نشت اندازه‌گیری می‌شود، و

$T$  = دوره بهره‌برداری (روز)، عدد  $۸۶۴۰۰$  ضریب تبدیل زمان می‌باشد.

گام سوم - از سازه‌های خاص شبکه (همچون زیرگذرها، سیفون‌ها و ناوهای بزرگ) نمونه‌های مناسب انتخاب می‌شود. برحسب تفاوت آب ورودی و خروجی، نشت آب در این نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌شود. میزان نشت از هر سازه خاص نمونه در طی مدت اندازه‌گیری با استفاده از رابطه (۴-۵) محاسبه می‌گردد.

$$L_p = (V_{in} - V_{out}) / t_p \quad (۴-۵)$$

که در آن:

$L_p$  = حجم نشت در سازه خاص نمونه (مترمکعب بر ثانیه)،

$V_{out}$  = حجم آب خروجی از سازه که در بالادست اندازه‌گیری شده (مترمکعب در مدت اندازه‌گیری)،

$V_{in}$  = حجم آب ورودی به سازه که در پایین‌دست اندازه‌گیری شده (مترمکعب در مدت اندازه‌گیری)، و

$t_p$  = مدت اندازه‌گیری (ثانیه)، می‌باشد.

حجم کلی نشت در تمامی سازه‌های خاص واقع در شبکه در یک دوره بهره‌برداری با استفاده از رابطه (۴-۶) برآورد می‌شود.

$$L_3 = \sum_{p=1}^k N_p L_p T_p \quad (۴-۶)$$

که در آن:

$L_3$  = حجم کلی نشت در تمامی سازه‌های خاص موجود (مترمکعب در دوره بهره‌برداری)،

$p$  = انواع سازه‌های خاص از ۱ تا  $k$  (به عنوان مثال برای سیفون‌های بزرگ:  $p=۱$ ، ناوهای بزرگ:  $p=۲$  تا  $p=k$ ) که برای هر نوع از این سازه‌ها یک نمونه انتخاب و نشت آب در آن اندازه‌گیری می‌شود،

$N$  = تعداد هر نوع از سازه‌های خاص که نشت در یک نمونه از آن اندازه‌گیری می‌شود (به عنوان مثال اگر ۴ عدد سیفون بزرگ وجود داشته باشد که یک نمونه از آن انتخاب شود پس:  $N=۴$  است)،

$L$  = حجم نشت اندازه‌گیری شده در سازه خاص انتخاب شده (مترمکعب بر ثانیه)،

$T$  = دوره بهره‌برداری سازه خاص (روز)، و عدد  $۸۶۴۰۰$  ضریب تبدیل روز به ثانیه، می‌باشد.

گام چهارم - نشت و تبخیر آب در مخازن ذخیره‌ای (به شکل کانال یا حوضچه) با استفاده از موازنه حجم آب ورودی و خروجی مطابق رابطه (۴-۷) تا (۴-۹) برآورد می‌شود.



$$L_s = [(a \times \Delta S) - (V_{in} - V_{out})] \frac{T_s}{t_s} \quad \text{for} \quad V_{in} > V_{out} \quad (۷-۴)$$

$$L_s = [(a \times \Delta S) - (V_{out} - V_{in})] \frac{T_s}{t_s} \quad \text{for} \quad V_{in} < V_{out} \quad (۸-۴)$$

$$L_s = a \times \Delta S \quad \text{for} \quad V_{in} = V_{out} \quad (۹-۴)$$

که در آن:

$L_s$  = کل حجم نشت و تبخیر در یک مخزن ذخیره‌ای در شبکه (مترمکعب در دوره بهره‌برداری)،

$V_{in}$  = حجم آب ورودی به مخزن ذخیره‌ای (مترمکعب در دوره بهره‌برداری)،

$V_{out}$  = حجم آب خروجی از مخزن ذخیره‌ای (مترمکعب در دوره بهره‌برداری)،

$a$  = میانگین مساحت مخزن ذخیره‌ای در فاصله زمانی تغییر سطح آب (مترمربع در دوره اندازه‌گیری)،

$\Delta S$  = تغییرات سطح آب در مخزن ذخیره‌ای، (متر در دوره اندازه‌گیری) که با قرائت اشل نصب شده در محل مناسب

بین دو فاصله زمانی مشخص، تغییرات سطح آب در مخازن ذخیره‌ای اندازه‌گیری می‌شود،

$T_s$  = دوره بهره‌برداری (روز)، و

$t_s$  = مدت اندازه‌گیری (روز) می‌باشد.

در حالتی که حجم آب ورودی و خروجی مساوی باشند، افت سطح آب در مدت مشخص نشان‌دهنده نشت در مخازن ذخیره‌ای است که میزان آن به صورت رابطه (۹-۴) محاسبه می‌شود. اگر تبخیر قابل توجه نباشد، قابل صرف نظر است.

در صورتی که شرایط فیزیکی و بهره‌برداری مخزن ذخیره‌ای تغییر معنی‌داری نداشته باشد، روابط (۷-۴) تا (۹-۴) با این فرض که شرایط در کل دوره بهره‌برداری مشابه زمان اندازه‌گیری بوده، برای محاسبه حجم نشت در یک مخزن ذخیره‌ای در شبکه قابل بهره‌گیری است در غیر این صورت باید اندازه‌گیری برای هر شرایط جداگانه تکرار شود.

کل نشت آب در تمامی مخازن ذخیره‌ای شبکه از رابطه (۱۰-۴) تعیین می‌شود.

$$L_4 = \sum_{s=1}^w N_s L_s \quad (۱۰-۴)$$

که در آن:

$L_4$  = کل حجم نشت آب در مخازن ذخیره‌ای (کانالی/ دریاچه‌ای) شبکه (مترمکعب در دوره بهره‌برداری)،

$s$  = انواع مخازن ذخیره‌ای از ۱ تا  $w$  (که از هر نوع یک نمونه انتخاب و نشت اندازه‌گیری می‌شود)،

$N$  = تعداد هر یک از انواع مخازن ذخیره‌ای مشابه حوضچه‌ای که در آن نشت آب اندازه‌گیری می‌شود، و

$L$  = حجم نشت در یک نمونه از مخزن ذخیره‌ای شبکه (مترمکعب در دوره بهره‌برداری)، می‌باشد.

گام پنجم - تبخیر سطحی در هر فصل یا دوره بهره‌برداری شبکه ممکن است قابل توجه باشد. تبخیر از سطوح آب در معرض تبخیر همچون شبکه نهرها و کانال‌ها، مخازن ذخیره و غیره با استفاده از رابطه (۱۱-۴) برآورد می‌شود.



$$E = 10^{-3} \sum_{t=1}^u N_t E_p A_t T_t \quad (۱۱-۴)$$

که در آن:

$E$  = کل حجم تبخیر از سطوح در معرض تبخیر شبکه (مترمکعب در دوره بهره‌برداری)،

$t$  = انواع سطوح در معرض تبخیر همانند سطوح آب در شبکه نهرها و کانال‌ها و مخازن ذخیره از ۱ تا  $u$  (مترمربع در دوره بهره‌برداری)،

$N$  = تعداد هر یک از انواع سطوح در معرض تبخیر که مشابه هستند،

$E_p$  = ضریبی معادل ۶۵ تا ۸۰ درصد تبخیر از تشت کلاس  $A$  (میلی‌متر بر روز)؛<sup>۱</sup>

$A$  = سطح در معرض تبخیر در شبکه (مترمربع)، و

$T$  = دوره بهره‌برداری (روز)، عدد  $10^{-3}$  ضریب تبدیل میلی‌متر به متر می‌باشد.

تبخیر در مسیر کانال‌های آبیاری در مقایسه با نشت و سرریز شدن آب اندک می‌باشد و در عمل می‌توان از آن صرف‌نظر کرد [۱۸].

گام ششم - جذب آب توسط گیاهان هرز (ET) روییده در مخازن و مسیر کانال‌ها به ویژه در شبکه‌های آبیاری و زهکشی با نگهداری نامناسب می‌تواند رقمی قابل توجه باشد. کل آب مصرفی این گیاهان به طور معمول برحسب درصدی از جریان برآورد می‌شود. به عنوان مثال در کتابچه ملی مهندسی سازمان حفاظت خاک ایالات متحده برحسب تراکم رشد علف‌های هرز پیشنهاد شده این میزان ۵٪ تا ۱ درصد جریان در هر کیلومتر کانال برآورد شود که این ارقام جنبه راهنما دارد [۴۱].

در صورتی که تراکم علف‌های هرز روییده در مسیر انتقال و توزیع آب کم باشد، از مقدار آب مصرف شده توسط این گیاهان غیرزراعی صرف‌نظر می‌شود. در غیر این صورت آب مورد استفاده علف‌های هرز به عنوان مصرف غیرمفید در شبکه برآورد می‌شود. برای این کار می‌توان به یکی از دو روش زیر عمل کرد:

در روش اول، در هر کیلومتر از کانال‌ها برحسب تراکم، آب مصرفی علف‌های هرز معادل ۵٪ درصد جریان (برای تراکم کم) و ۱ درصد (برای تراکم زیاد) برآورد می‌شود. این برآورد برای مدت بهره‌برداری از کانال‌ها صورت می‌پذیرد.

در روش دوم، ضریب‌های گیاهی مناسب از ارقام ارائه شده در فصل ششم نشریه شماره ۵۶ سازمان خواروبار و کشاورزی انتخاب می‌شوند [۳۲]. با در دست داشتن این ضریب‌ها و اطلاعات هواشناسی محدوده شبکه و استفاده از

۱- ضریب ۸۰ درصد برای مناطق گرم و خشک و ضریب ۶۵ برای مناطق معتدل یا مرطوب در نظر گرفته می‌شود [۱۸]. میزان  $E_p$  در ایستگاه هواشناسی معرف اندازه‌گیری می‌گردد. اگر میزان تبخیر در مناطق تحت پوشش شبکه متفاوت نباشد، می‌توان از یک رقم  $E_p$  برای کل شبکه استفاده کرد.



روش پنمن-مانتیث به نحوی که در نشریه فوق بیان شده است، تبخیر-تعرق علف‌های هرز در طی دوره بهره‌برداری شبکه برحسب سطح پوشش<sup>۱</sup> محاسبه و معادل آب مصرف شده این گیاهان در نظر گرفته می‌شود.

در هر دو روش، تخمینی از میزان آب مصرفی علف‌های هرز به دست می‌آید. البته روش دوم پیچیدگی‌های بیشتری دارد، ولی با ضریب گیاهی مناسب و داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های استاندارد می‌تواند نتیجه بهتری را ارائه کند. گام هفتم - کل حجم آب باقیمانده در شبکه (R) به ویژه در توزیع غیردائمی برای یک دوره بهره‌برداری و حجم آب مصرفی برای هواگیری خطوط لوله در صورت عدم استفاده، از دسترس شبکه خارج می‌شود. این حجم آب برحسب سطح مقطع جریان و طول مجاری و تعداد دفعات پر و خالی شده لوله‌ها برآورد می‌شود.

گام هشتم - در شبکه زهکش‌های اصلی یا فرعی، زه‌آب در صورت وجود اندازه‌گیری می‌شود. برای این منظور خروجی یا خروجی‌های نهایی و تعدادی از خروجی‌ها در زهکش‌های اصلی، درجه سه و جمع‌کننده به عنوان نمونه انتخاب می‌شوند. اندازه‌گیری زه‌آب در این نقاط باید عملکرد زهکش‌ها را نشان دهد. فواصل زمانی اندازه‌گیری‌ها متناسب با آرایش زهکش‌ها و برنامه تحویل آب به نحوی تعیین می‌شود که امکان اندازه‌گیری زه‌آب پس از یک نوبت آبیاری مزارع بالادست فراهم باشد. مجموع نتایج اندازه‌گیری‌ها باید کل میزان زه‌آب خروجی از شبکه اصلی و فرعی را در یک دوره بهره‌برداری نشان دهد. میزان زه‌آب برحسب مترمکعب محاسبه و با D نشان داده می‌شود.

گام نهم - در برخی شرایط ممکن است آبیاری شبکه در شب نیز ادامه یابد که اگر تحویل آب صورت نپذیرد و امکان ذخیره‌سازی آب فراهم نباشد، ممکن است آب در برخی نقاط سرریز کند. این میزان آب سرریز شده در صورت وجود یا قابلیت نصب تجهیزات مناسب، اندازه‌گیری می‌شود. در صورت عدم اندازه‌گیری مقدار آب سرریز شده در شب برحسب سوابق و شرایط جریان آب در شبکه و تعداد نقاط سرریز شده آب تخمین زده می‌شود. این مقدار با  $L_5$  نشان داده شده و آبی است که از دسترس شبکه آبیاری خارج می‌گردد.

گام دهم - مجموع حجم آب تامین شده برای شبکه آبیاری و زهکشی که در طی دو فرآیند انتقال یا توزیع<sup>۲</sup> از دسترس خارج می‌شود، با استفاده از نتایج به دست آمده در گام‌های اول تا هشتم از روابط (۴-۱۲) و (۴-۱۳) محاسبه می‌گردد.

$$L_{tc} = (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + E_p + ET + R + D + L_5)_c \quad (۴-۱۲)$$

$$L_{td} = (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + E_p + ET + R + D + L_5)_d \quad (۴-۱۳)$$

که در این روابط؛  $L_{tc}$  و  $L_{td}$  کل آبی است که به ترتیب در طی فرآیندهای انتقال و توزیع از دسترس شبکه آبیاری و زهکشی خارج می‌شود (و برحسب مترمکعب در دوره بهره‌برداری تعیین می‌شود). اجزای روابط (۴-۱۲) و (۴-۱۳) در

۱- تعیین دقیق مساحت تحت پوشش علف‌های هرز به ویژه به تفکیک انواع آن ساده نمی‌باشد، لذا به طور تخمینی تعیین می‌شود.  
۲- در بند ۱-۹ فصل اول، (فرآیند) انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری و زهکشی تعریف شده‌اند.



پیش از این تعریف شده‌اند و اندیس‌های c و d به ترتیب فرآیندهای انتقال و توزیع را نشان می‌دهند. این اجزا برای هر فرآیند در صورت وجود، به روش‌های بیان شده در گام‌های اول تا نهم محاسبه می‌شوند.

گام یازدهم - مجموع حجم آبی که در طی فرآیندهای انتقال و توزیع در یک دوره بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی از دسترس آن خارج می‌شود، از رابطه (۴-۱۴) قابل تعیین است.

$$L_{ts} = L_{tc} + L_{td} \quad (۴-۱۴)$$

که در آن:

$L_{ts}$  = مجموع حجم آب خارج شده از دسترس شبکه در طی انتقال و توزیع (مترمکعب)،

$L_{tc}$  = کل حجم آب خارج شده از دسترس شبکه در فرآیند انتقال (مترمکعب) از رابطه (۴-۱۲)، و

$L_{td}$  = کل حجم آب خارج شده از دسترس در فرآیند توزیع (مترمکعب) از رابطه (۴-۱۳)، می‌باشد.

گام دوازدهم - بازده‌های انتقال، توزیع و سامانه برای یک دوره بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی با در دست داشتن کل حجم آب تامین شده (آبگیری) برای شبکه و کل حجم آبی که در طی فرآیندهای انتقال و توزیع از دسترس خارج شده طبق روابط (۴-۱۵) تا (۴-۱۷) محاسبه می‌شود.

$$E_c = \left[ \frac{V_{dc} - L_{tc}}{V_{dc}} \right] \times 100 \quad (۴-۱۵)$$

$$E_d = \left[ \frac{V_{dd} - L_{td}}{V_{dd}} \right] \times 100 \quad (۴-۱۶)$$

$$E_s = \left[ \frac{V_d - L_{ts}}{V_d} \right] \times 100 \quad (۴-۱۷)$$

که در این روابط:

$E_c$  = بازده انتقال آب در شبکه (درصد)،

$E_d$  = بازده توزیع آب در شبکه (درصد)،

$E_s$  = بازده سامانه آبیاری (درصد)،

$V_{dc}$  = حجم آب تحویلی به شبکه انتقال (مترمکعب)،

$V_{dd}$  = حجم آب تحویلی به شبکه توزیع (مترمکعب)،

$V_d$  = کل حجم آب تامین شده برای شبکه آبیاری و زهکشی (مترمکعب) می‌باشد، و

$L_{ts}$ ،  $L_{td}$  و  $L_{tc}$  = با استفاده از روابط (۴-۱۲) تا (۴-۱۴) قابل محاسبه هستند.

عوامل فوق برای یک دوره بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی تعیین می‌شوند، گرچه روابط (۴-۱۵)، (۴-۱۶) و

(۴-۱۷) برای هر بازه زمانی که مورد نظر باشد، قابلیت به کارگیری دارند.

کاربرگ‌هایی برای انجام محاسبه‌های لازم در تعیین بازده آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در پیوست ۱ ارائه شده است.



## ۴-۷-۲- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده کاربرد آب در شبکه

نتایج بازده کاربرد آب در مزارع نمونه با شرط آن که تمامی حالات کاربرد آب در مزارع تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی را در برگیرند، طبق رابطه (۴-۱۸) به بازده کاربرد آب در شبکه تعمیم داده می‌شود.

$$E_{a,s} = \frac{\sum_{i=1}^m E_{a,i} \times A_i}{\sum_{i=1}^m A_i} \times 100 \quad (4-18)$$

که در آن:

$E_{a,s}$  = میانگین بازده کاربرد آب آبیاری در سطح شبکه (درصد)،

$m$  = تعداد دسته‌بندی مزارع دارای بازده کاربرد مشابه که کل شبکه را پوشش دهد؛ از ۱ تا  $i$  که از هر دسته یک

نمونه برای تعیین بازده انتخاب می‌شود،

$E_a$  = بازده کاربرد آب در مزرعه انتخابی که به عنوان نمونه از مزارع مشابه تعیین شده است (بین صفر و یک)، و

$A$  = مساحت مزارع مشابه و دارای بازده کاربرد  $E_a$  (هکتار)، می‌باشد.

مثال: نتایج اندازه‌گیری‌های مربوط به بازده کاربرد آب در مزارع تحت پوشش یک شبکه آبیاری و زهکشی و مساحت

تحت کشت هر محصول در جدول (۴-۶) آمده است. میانگین بازده کاربرد آب در شبکه را تعیین کنید.

میانگین بازده کاربرد آب در کل مزارع تحت پوشش با استفاده از رابطه (۴-۱۸) محاسبه می‌شود.

$$\sum_{i=1}^m E_{a,i} A_i = 55 \times 1500 + 70 \times 4600 + 65 \times 1200 + 55 \times 2100 + 70 \times 2500 + 75 \times 2000 + 85 \times 500 + 75 \times 3000 = 1190500$$

$$\sum_{i=1}^m A_i = 1500 + 4600 + 1200 + 2100 + 2500 + 2000 + 500 + 3000 = 17400$$

$$E_{a,s} \approx 68\%$$

میانگین بازده کاربرد آب در کل مزارع تحت پوشش شبکه

جدول ۴-۶- مثالی از نحوه‌ی تعیین بازده کاربرد آب در شبکه آبیاری و زهکشی

ردیف	محصول	روش آبیاری	بافت خاک	سطح کشت (هکتار)	بازده کاربرد آب (درصد)
۱	گندم و جو	غرقابی	سبک	۱۵۰۰	۵۵
۲	گندم و جو	غرقابی	متوسط	۴۶۰۰	۷۰
۳	گندم و جو	نواری	متوسط	۱۲۰۰	۶۵
۴	چغندر قند	جویچه‌ای	سبک	۲۱۰۰	۵۵
۵	چغندر قند	جویچه‌ای	سنگین	۲۵۰۰	۷۰
۶	ذرت دانه‌ای	جویچه‌ای	متوسط	۲۰۰۰	۷۵
۷	صیفی	قطره‌ای	متوسط	۵۰۰	۸۵
۸	یونجه	بارانی	سنگین	۳۰۰۰	۷۵

#### ۴-۷-۳- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده کلی آبیاری در شبکه

بازده کلی شبکه (طرح) آبیاری و زهکشی از حاصل ضرب بازده‌های انتقال، توزیع و کاربرد آب در دوره بهره‌برداری به صورت رابطه (۱۹-۴) تعیین می‌شود.

$$E_p = (E_s \times E_{a,s}) \times 100 \quad (19-4)$$

که در آن:

$E_p$  = بازده کلی شبکه آبیاری و زهکشی در یک دوره بهره‌برداری (درصد)،

$E_s$  = بازده سامانه یا حاصل ضرب بازده انتقال و توزیع (بین صفر و یک)، و

$E_a$  = بازده کاربرد آب (بین صفر و یک)، می‌باشد.

عوامل رابطه (۱۹-۴) برای هر محدوده زمانی مورد نظر نیز قابل تعیین است که در نتیجه، بازده کلی آبیاری نیز برای همان دوره محاسبه می‌شود.

#### ۴-۷-۴- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بازده بهره‌برداری در شبکه

بازده بهره‌برداری در هر دوره می‌تواند در محدوده شبکه اصلی، شبکه فرعی، یک کانال، شبکه کانال‌ها مرتبط باهم بررسی و برآورد شود. ابتدا در دوره زمانی مشخص بخش مورد نظر برای تعیین بازده بهره‌برداری انتخاب و سپس تعداد بازه‌ها و سازه‌های مربوطه به عنوان شرایط مرزی انتخاب می‌شوند. در این دستورالعمل، بازده بهره‌برداری در شبکه اصلی با استفاده از مجموع آمار روزانه حجم آب تحویلی به آبیگر مزارع و نیز حجم آب سرریز شده تعیین می‌شود و قابل تعمیم به شرایط زمانی و مکانی مشابه خواهد بود. اگر اندازه‌گیری آب سرریز شده از سرریزهای جانبی و انتهایی به دلیل عدم اطلاع از زمان وقوع و یا عدم وجود تجهیزات مناسب عملی نباشد، تخمینی از حجم آب سرریز شده بر مبنای تجربه بهره‌بردار در نظر گرفته و به حجم آب تحویلی مازاد به شبکه مزارع اضافه می‌شود. مجموع این دو، میزان آبی که در طی فرآیند بهره‌برداری از دسترس شبکه خارج شده است، را نشان می‌دهد.

#### ۴-۷-۵- کاربرد اندازه‌گیری‌ها در تعیین بهره‌وری آب در شبکه

بهره‌وری آب به صورت نسبت مقدار محصول به دست آمده به مقدار آب مصرف شده برای تولید آن محصول محاسبه می‌شود. آب آبیاری کاربردی در این رابطه برحسب هدف و دیدگاه کاربران در محل‌هایی همچون نقطه تحویل به آب‌بران یا محل تحویل به شبکه در نظر گرفته شود.

پس از انتخاب مزارع نمونه برای هر محصول کشت شده، ابتدا آب آبیاری کاربردی (با روش‌های بیان شده در بند ۳-۲) و عملکرد (با روش بیان شده در بند ۳-۷) در این مزارع اندازه‌گیری و بهره‌وری آب (از رابطه ۲-۱۰) محاسبه می‌گردد. بهره‌وری آب در شبکه برای تولید یک محصول خاص با تعمیم بهره‌وری آب در مزارع انتخاب شده (به عنوان معرف و نمونه) به کل مزارع همگن طبق رابطه (۴-۲۰) تعیین می‌شود.



$$WUE(\text{crop}) = \frac{\sum_{i=1}^m WUE_i \times A_i}{\sum_{i=1}^m A_i} \quad (۲۰-۴)$$

که در آن:

$WUE(\text{crop})$  = میانگین بهره‌وری آب در شبکه برای تولید یک محصول به عنوان مثال Crop = گندم، (کیلوگرم بر مترمکعب)،

$i$  = مزارع معرف که تحت کشت یک محصول بوده اما دارای بهره‌وری آب ( $WUE$ ) متفاوت هستند، به تعداد ۱ تا  $m$ .

$WUE$  = بهره‌وری آب محاسبه شده در مزرعه معرف (کیلوگرم بر مترمکعب)، و

$A$  = کل سطح کشت محصول دارای بهره‌وری آب مشابه مزرعه معرف (هکتار)، می‌باشد.

بهره‌وری آب در شبکه برای تولید تمامی محصولات ترکیب کشت با استفاده از رابطه (۲۰-۴) به طور جداگانه قابل محاسبه می‌باشد.

مثال: در اراضی تحت کشت گندم یک شبکه آبیاری و زهکشی، بهره‌وری آب برای تولید این محصول در مزارع معرف ۰/۶۰، ۰/۷۵، ۰/۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شده و کل سطوحی که از نظر بهره‌وری آب مشابه و همگن با این مزارع معرف هستند، به ترتیب ۸۰۰، ۱۲۰۰ و ۶۰۰ هکتار می‌باشند. میانگین بهره‌وری آب در این شبکه برای تولید گندم را تعیین کنید.

با استفاده از رابطه (۲۰-۴)، میانگین بهره‌وری آب در تولید گندم در شبکه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sum_{i=1}^m WUE_i A_i = 0.6 \times 800 + 0.75 \times 1200 + 0.8 \times 600 = 1860$$

$$\sum_{i=1}^m A_i = 800 + 1200 + 600 = 2600$$

کیلوگرم بر مترمکعب  $WUE(\text{crop}) = 0.72$

پس از محاسبه میانگین بهره‌وری آب برای تولید هر نوع محصول از انواع محصولات کشت شده در شبکه با بهره‌گیری از رابطه (۲۰-۴)، میانگین کلی بهره‌وری آب این شبکه با استفاده از رابطه (۲۱-۴) قابل تعیین است.

$$WUE(\text{crops pattern}) = \frac{\sum_{j=1}^n WUE(\text{crop})_j \times A_j}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (۲۱-۴)$$

که در آن:

$WUE(\text{crops pattern})$  = میانگین کلی بهره‌وری آب در شبکه برای تولید محصول (کیلوگرم بر مترمکعب)،

$j$  = انواع محصولات کشاورزی در شبکه به عنوان مثال: گندم، جو، ذرت و... تا  $n$  محصول،

$WUE(\text{crop})$  = میانگین بهره‌وری آب طبق رابطه (۲۰-۴) برای هر نوع محصول (کیلوگرم بر مترمکعب)، و

$A =$  کل سطح کشت هر نوع محصول در شبکه (هکتار)، است.

مثال: در یک شبکه آبیاری و زهکشی، بهره‌وری آب برای تولید محصولات ترکیب کشت شامل گندم، جو، یونجه (عملکرد خشک)، چغندر قند و سیب‌زمینی به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۵۵، ۱/۱۰، ۲/۵۰ و ۲/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شده است. اگر کل سطح تحت کشت این محصولات به ترتیب ۱۲۰۰۰، ۴۲۰۰، ۵۱۰۰، ۴۵۰۰ و ۸۰۰۰ هکتار باشد، میانگین کلی بهره‌وری آب در شبکه آبیاری را تعیین کنید.

با استفاده از رابطه (۴-۲۱)، میانگین بهره‌وری آب این شبکه به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\sum_{i=1}^m WUE_i A_i = 0.75 \times 1200 + 0.55 \times 4200 + 1.10 \times 5100 + 2.50 \times 4500 + 2.44 \times 8000 = 47090$$

$$\sum_{i=1}^m A_i = 1200 + 4200 + 5100 + 4500 + 8000 = 33800$$

WUE(crops pattern) = 1.4 کیلوگرم بر مترمکعب

گاه ممکن است محصولات کشت شده در قسمت‌های مختلف شبکه آبیاری و زهکشی یکسان نباشد. در این حالت، برحسب انواع محصولات در هر قسمت، بهره‌وری آب برای هر محصول طبق رابطه (۴-۲۰) و میانگین (وزنی) بهره‌وری آب در آن قسمت طبق رابطه (۴-۲۱) محاسبه می‌شود. بهره‌وری آب در کل شبکه میانگین (وزنی) بهره‌وری آب در قسمت‌های مختلف است.

#### ۴-۸ - مراحل عملیات اندازه‌گیری و کنترل

مراحل عمومی عملیات اندازه‌گیری داده‌ها و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در تعیین بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد و بهره‌برداری و بهره‌وری آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به شرح زیر می‌باشند:

- جمع‌آوری و بررسی اطلاعات و نتایج مطالعات و تحقیقات انجام شده در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی،
- هماهنگی با دست‌اندرکاران تشکیلات بهره‌برداری و نگهداری شبکه به منظور بهره‌گیری از نظرات و تجارب
- بررسی گزارش مطالعه، اجرا و دستورالعمل‌های بهره‌برداری و نگهداری شبکه،
- بررسی‌های میدانی به منظور آشنایی با وضعیت فعلی شبکه،
- اخذ اطلاعات در مورد ترکیب کشت مصوب، برنامه توزیع و تحویل آب از تشکیلات بهره‌برداری و نگهداری شبکه،
- شناسایی و انتخاب بازه‌ها، نقاط و مزارع مناسب که معرف بخش یا بخش‌هایی از شرایط فیزیکی، هیدرولیکی و بهره‌برداری مشابه باشند (با استفاده از بند ۴-۳)،



- تعیین روش‌های اندازه‌گیری آب در بازه‌ها و نقاط انتخاب شده معرف و تهیه تجهیزات و ادوات مورد نیاز (با استفاده از بند ۳-۲)،
- تهیه و ارسال نمونه‌های آب و خاک در مزارع معرف و ارسال به آزمایشگاه‌های معتبر جهت تعیین خصوصیات مورد نیاز (با استفاده از بند ۳-۳ تا ۳-۳-۳)،
- حفر و تجهیز چاهک‌های مشاهده‌ای در مزارع برنج انتخاب شده برای تعیین جریان آب زیرزمینی و نفوذ عمقی پس از آبیاری،
- تعیین روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک در مزارع انتخاب شده معرف و تهیه تجهیزات مورد نیاز (با استفاده از بند ۳-۳-۴)،
- تهیه برنامه زمانی جمع‌آوری و اندازه‌گیری اطلاعات و داده‌های مورد نیاز بازده انتقال، توزیع، کاربرد، بهره‌برداری و بهره‌وری آب در یک دوره بهره‌برداری از شبکه (با استفاده از بند ۴-۵)،
- تهیه روش‌ها و برنامه زمانی اندازه‌گیری عملکرد محصولات در مزارع انتخاب شده با توجه به نوع و تاریخ برداشت محصول در شبکه (با استفاده از بند ۳-۹)،
- تهیه کاربرگ‌های مورد نیاز و متناسب با بازه‌ها، نقاط و مزارع انتخاب شده و معرف شرایط شبکه (با استفاده از پیوست ۱)،
- اندازه‌گیری داده‌ها، جمع‌آوری اطلاعات و محاسبه بازده انتقال، توزیع و کاربرد آب و بهره‌وری آب در بازه‌ها، نقاط و مزارع انتخاب شده و معرف شبکه (با استفاده از ۲-۳ تا ۲-۳-۷)، و
- محاسبه و تعیین بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد، بهره‌برداری و بهره‌وری آب در شبکه آبیاری و زهکشی (با استفاده از بند ۴-۶).

نکته: دستگاه‌های اجرایی بر حسب وسعت شبکه‌ها و اهمیت موضوع اندازه‌گیری و کنترل، از شرکت‌های صاحب صلاحیت با ساختار و سازمان مشخص جهت عملیاتی نمودن موضوع براساس شرح خدمات و مقادیر کار مشخص اقدام می‌نمایند و در واگذاری کار (مناقصات) به موضوع توجه خواهند نمود.



# پیوست ۱

---

---

**کاربرگ‌های قابل استفاده در تعیین**

**بازده آبیاری**





کاربرگ ۱- اندازه گیری و محاسبه میزان نشت در طول شبکه انتقال و توزیع آب در یک دوره بهره برداری از شبکه

شماره بازه (۱)	طول بازه (۲)	حجم آب ورودی (۳)	حجم آب خروجی (۴)	مدت اندازه گیری (۵)	درصد حجمی نشت در طول بازه (۶)	درصد حجمی نشت در واحد طول بازه (۷)	حجم آب عبوری از مجاری مشابه بازه (۸)	دوره بهره برداری (۹)	طول مجاری مشابه بازه (۱۰)	حجم نشت در کل طول مجاری مشابه بازه (۱۱)
۱										
۲										
...										
...										
m										
جمع										

(۱) شماره بازه انتخابی در مجاری آبیاری

(۲) برای اندازه گیری جریان، بر حسب متر و حداقل ۱۰۰ متر

(۳) تعیین شده در ابتدای بازه انتخابی در مدت اندازه گیری، بر حسب مترمکعب

اگر بده جریان اندازه گیری شود با ضرب در مدت زمان اندازه گیری، حجم جریان تعیین می شود.

(۴) تعیین شده در انتهای بازه انتخابی در مدت اندازه گیری، بر حسب مترمکعب

اگر بده جریان اندازه گیری شود با ضرب در مدت زمان اندازه گیری، حجم جریان تعیین می شود.

(۵) مدت زمان اندازه گیری جریان عبوری با بده معین در بازه انتخابی، بر حسب دقیقه

(۶) نشت در بازه در کل مدت اندازه گیری جریان و مساوی با: [تفاوت ستون (۳) و (۴) تقسیم بر ستون (۳)]  $\times ۱۰۰$ ، بر حسب درصدی از حجم

جریان عبوری

(۷) درصد حجمی نشت در واحد طول بازه در واحد زمان و مساوی با: ستون (۶) تقسیم بر [ستون (۲)  $\times$  ستون (۵)]  $\times ۶۰$  (تبدیل دقیقه به

ثانیه)، بر حسب درصدی از حجم جریان ورودی بر حسب متر بر ثانیه

(۸) در دوره مورد نظر، بر حسب مترمکعب

(۹) دوره مورد نظر با بده عبوری معین بر حسب ساعت

(۱۰) کل طول مجاری در حال بهره برداری مشابه با بازه انتخاب شده برای اندازه گیری جریان، بر حسب متر

(۱۱) [ستون (۸)  $\times$  ستون (۹)  $\times$  ستون (۱۰)]  $\times ۳۶۰۰$  (تبدیل ثانیه به ساعت) تقسیم بر  $۱۰۰$ ، بر حسب مترمکعب در کل مجاری مشابه بازه

انتخابی در دوره مورد نظر



کاربرگ ۲- اندازه‌گیری و محاسبه میزان نشت در سازه‌های همسان در یک دوره بهره‌برداری از شبکه

نوع سازه (۱)	محل سازه (۲)	حجم آب ورودی (۳)	حجم آب خروجی (۴)	مدت اندازه‌گیری (۵)	درصد حجمی نشت در واحد زمان (۶)	دوره بهره‌برداری (۷)	بده جریان در دوره بهره‌برداری (۸)	حجم نشت در دوره بهره‌برداری (۹)	تعداد سازه‌ها (۱۰)	کل حجم نشت در دوره بهره‌برداری (۱۱)
۱										
۲										
...										
J										
جمع										

(۱) سازه‌هایی چون دریچه‌ها، مقسم‌ها، محل‌های نشت موضعی، سرریزهای جانبی و انتهایی

(۲) در جانمایی شبکه

(۳) تعیین شده در ورودی سازه در کل مدت اندازه‌گیری، برحسب مترمکعب

اگر بده جریان اندازه‌گیری شود با ضرب در مدت زمان اندازه‌گیری به حجم تبدیل می‌شود.

(۴) تعیین شده در خروجی سازه در کل مدت اندازه‌گیری، برحسب مترمکعب

اگر بده جریان اندازه‌گیری شود با ضرب در مدت زمان اندازه‌گیری به حجم تبدیل می‌شود.

(۵) مدت زمان اندازه‌گیری جریان عبوری از سازه، برحسب ساعت

(۶) نشت در سازه در هر واحد زمان و مساوی با:  $\{ ۱۰۰ \times [ \text{ستون (۳) منهای ستون (۴)} ] \}$  تقسیم بر [ستون (۵)  $\times ۳۶۰۰$  (تبدیل ساعت به ثانیه)]،

برحسب درصدی از حجم جریان عبوری (برای حالتی که حجم آب ورودی بیشتر از حجم آب خروجی و به معنای وجود نشت در سازه است).

(۷) دوره مورد نظر با عبور بده معین از سازه، برحسب ساعت

(۸) بده عبوری در دوره مورد نظر، مترمکعب بر ثانیه

(۹) [ستون (۶)  $\times$  ستون (۷)  $\times$  ستون (۸)]  $\times ۳۶۰۰$  (تبدیل ساعت به ثانیه) تقسیم بر ۱۰۰، برحسب مترمکعب

(۱۰) تعداد سازه‌های مشابه سازه نمونه که در آن اندازه‌گیری انجام می‌شود.

(۱۱) ستون (۹)  $\times$  ستون (۱۰)، برحسب مترمکعب در دوره مورد نظر



## کاربرگ ۳- اندازه گیری و محاسبه میزان نشت در سازه های غیرهمسان در یک دوره بهره برداری از شبکه

نوع سازه غیرهمسان (۱)	محل سازه (۲)	حجم آب ورودی (۳)	حجم آب خروجی (۴)	مدت اندازه گیری (۵)	درصد حجمی نشت در مدت اندازه گیری (۶)	درصد حجمی نشت در هر واحد زمان (۷)	حجم آب عبوری از سازه (۸)	دوره بهره برداری (۹)	کل حجم نشت در دوره بهره برداری (۱۰)
۱									
۲									
...									
k									
جمع									

(۱) سازه هایی چون سیفون ها، ناوها و زیرگذرهای بزرگ

(۲) در جانمایی شبکه آبیاری و زهکشی

(۳) تعیین شده در ورودی سازه در کل مدت اندازه گیری، برحسب مترمکعب.

اگر بده جریان اندازه گیری شود با ضرب در مدت زمان اندازه گیری، حجم جریان تعیین می شود.

(۴) تعیین شده در خروجی سازه در کل مدت اندازه گیری، برحسب مترمکعب.

اگر بده جریان اندازه گیری شود با ضرب در مدت زمان اندازه گیری، حجم جریان تعیین می شود.

(۵) مدت زمان اندازه گیری جریان عبوری با بده معین از سازه مورد نظر، برحسب ساعت

(۶) در کل مدت اندازه گیری و مساوی با: [ تفاوت ستون (۳) و (۴)  $\times ۳۶۰۰$  (تبدیل ساعت به ثانیه)]  $\times ۱۰۰$

(۷) ستون (۶) تقسیم بر ستون (۵) برحسب درصدی از حجم جریان عبوری در هر ثانیه

(۸) حجم جریان عبوری در دوره مورد نظر، برحسب مترمکعب

(۹) دوره مورد نظر با بده عبوری معین از سازه، برحسب ساعت

(۱۰) [ستون (۷)  $\times$  ستون (۸)  $\times$  ستون (۹)  $\times ۳۶۰۰$  (تبدیل ساعت به ثانیه)]، برحسب مترمکعب در طی دوره مورد نظر



## کاربرگ ۴- اندازه‌گیری و محاسبه میزان نشت در مخازن ذخیره‌ای در یک دوره بهره‌برداری از شبکه

نوع مخزن (۱)	محل مخزن (۲)	بده ورودی مخزن در شروع اندازه‌گیری (۳)	بده خروجی مخزن در پایان اندازه‌گیری (۴)	مدت اندازه‌گیری (۵)	سطح مخزن (۶)	قدر مطلق تغییر حجم آب مورد انتظار در مخزن (۷)	عمق آب در شروع اندازه‌گیری (۸)	عمق آب در پایان مدت اندازه‌گیری (۹)	تغییر حجم آب اندازه‌گیری شده در مخزن (۱۰)	حجم نشت در مخزن (۱۱)	دوره بهره‌برداری از مخزن (۱۲)	کل حجم نشت در حوضچه (۱۳)
۱												
۲												
...												
w												
جمع												

(۱) شامل مخازن ذخیره‌ای به شکل کانال یا حوضچه

(۲) در جانمایی شبکه

(۳) تعیین شده در محل ورود به حوضچه، برحسب مترمکعب بر ثانیه

(۴) تعیین شده در محل خروج از حوضچه، برحسب مترمکعب بر ثانیه

(۵) مدت زمان اندازه‌گیری جریان عبوری و خروجی از حوضچه، برحسب ساعت

(۶) مساحت مخزن، برحسب مترمربع

(۷) {تفاوت ستون‌های (۳) و (۴) به صورت قدرمطلق} × ستون (۵) × ستون (۶) × ۳۶۰۰ (تبدیل ثانیه به ساعت)، برحسب مترمکعب

(۸) تعیین شده در شروع اندازه‌گیری، برحسب متر

(۹) تعیین شده در پایان اندازه‌گیری، برحسب متر

(۱۰) تغییر عمق آب [تفاوت ستون‌های (۸) و (۹) به صورت قدر مطلق] × ستون (۶)، برحسب مترمکعب

(۱۱) تفاوت ستون (۱۰) و ستون (۷)

(۱۲) کل دوره بهره‌برداری از مخزن با شرایط مشابه اندازه‌گیری، برحسب ساعت

(۱۳) [ستون (۱۱) × ستون (۱۲)] تقسیم بر ستون (۵)، برحسب مترمکعب در دوره مورد نظر



## کاربرگ ۵- اندازه‌گیری و محاسبه میزان تبخیر از سطوح تبخیر در یک دوره بهره‌برداری از شبکه

محدوده اندازه‌گیری (۱)	نواحی هر محدوده (۲)	سطح تبخیر (۳)	میزان تبخیر (۴)	واحد سطح تبخیر (۵)	طول سطوح تبخیر (۶)	دوره بهره‌برداری (۷)	کل سطح تبخیر (۸)	حجم تبخیر از کل سطوح تبخیر (۹)
۱	۱							
	۲							
	۰۰۰							
۰۰۰	۱							
	۲							
	۰۰۰							
u	۱							
	۲							
	۰۰۰							
جمع								

(۱) برحسب جانمایی شبکه

(۲) در حالتی که یک محدوده دارای نواحی تبخیر متفاوت باشد.

(۳) کانال و یا مخازن ذخیره‌ای

(۴) تبخیر از تشت تبخیر کلاس A از ایستگاه‌های هواشناسی، برحسب میلی‌متر در روز

(۵) واحد سطح آب در کانال‌ها که در معرض تبخیر است، برحسب مترمربع بر متر طول کانال (این ستون برای مخازن تکمیل نمی‌شود).

(۶) طول سطوح تبخیر برای کانال‌ها، برحسب متر (این ستون برای مخازن تکمیل نمی‌شود).

(۷) کل مساحت سطوح تبخیر مساوی با: حاصل ضرب ستون (۵) و ستون (۶) برای کانال‌ها یا مساحت مخازن ذخیره‌ای، برحسب مترمربع

(۸) مدتی که کانال یا مخزن دارای آب در معرض تبخیر است، برحسب روز

(۹) [ستون (۴) × ستون (۷) × ستون (۸)] × ۱۰<sup>-۳</sup> (تبدیل میلی‌متر به متر)، برحسب مترمکعب

## کاربرگ ۶- اندازه‌گیری و محاسبه بازده کاربرد آب در مزارع تحت پوشش شبکه

تاریخ آبیاری (۱)	نوبت آبیاری (۲)	میزان آب آبیاری (۳)	عمق ریشه گیاه (۴)	روش تعیین رطوبت خاک (۵)	رطوبت خاک پیش از آبیاری (۶)	رطوبت خاک پس از آبیاری (۷)	ذخیره آب در عمق ریشه گیاه (۸)	میزان صعود مویینه‌ای (۹)	میزان جریان زیرزمینی (۱۰)	میزان بارندگی (۱۱)	بازده کاربرد مزرعه نمونه (۱۲)	مساحت با بازده کاربرد مشابه (۱۳)
	۱											
	...											
	M											
جمع یا میانگین												

(۱) تاریخ آبیاری برحسب روز و ماه و سال

(۲) کل نوبت‌های آبیاری در یک دوره بهره‌برداری

(۳) میزان آب آبیاری اندازه‌گیری شده در ورودی قطعه آبیاری، برحسب مترمکعب

(۴) عمق توسعه ریشه گیاه اندازه‌گیری یا تخمینی، برحسب متر

(۵) روش اندازه‌گیری رطوبت خاک عمق توسعه ریشه گیاه به عنوان مثال تانسیومتر، بلوک‌های گچی و غیره

(۶) رطوبت حجمی خاک در عمق توسعه ریشه گیاه پیش از آبیاری، برحسب متر آب بر مترمکعب خاک

اگر رطوبت وزنی تعیین شده باشد با ضرب در جرم مخصوص ظاهری به رطوبت حجمی تبدیل می‌شود.

(۷) رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه پس از آبیاری، برحسب متر آب بر مترمکعب خاک

اگر رطوبت وزنی تعیین شده باشد با ضرب در جرم مخصوص ظاهری به رطوبت حجمی تبدیل می‌شود.

(۸) برحسب مترمکعب و مساوی با: [ستون (۶) - ستون (۷)]  $\times D \times A$  که در آن: D، عمق توسعه ریشه گیاه برحسب متر، A مساحت قطعه آبیاری برحسب مترمربع است.

(۹) میزان صعود مویینه‌ای آب به عمق توسعه ریشه گیاه (اندازه‌گیری یا برآورد شده)، برحسب میلی‌متر در فاصله بین دو اندازه‌گیری رطوبت خاک در پیش و پس از آبیاری

(۱۰) جریان زیرزمینی (جانبی) ورودی به عمق توسعه ریشه گیاه در فاصله بین اندازه‌گیری رطوبت خاک در پیش و پس از آبیاری، برحسب میلی‌متر

(۱۱) میزان بارندگی موثر در فاصله بین دو اندازه‌گیری رطوبت خاک در پیش و پس از آبیاری، برحسب میلی‌متر

(۱۲) برحسب درصد و مساوی با: { [ستون (۸) منهای مجموع ستون‌های (۹)، (۱۰) و (۱۱)]  $\times ۱۰۰$  } تقسیم بر ستون (۳)

(۱۳) مساحت مزارعی که بازده کاربرد آب در آن مشابه مزرعه نمونه است و بازده کاربرد آب در شبکه با استفاده از این ستون و ستون (۱۱) به‌صورت میانگین وزنی از رابطه (۴-۱۵) در فصل چهارم تعیین می‌شود.



## منابع و مراجع

- ۱- آیین‌نامه اجرایی نحوه مصرف بهینه آب کشاورزی (۱۳۸۷)، ابلاغ با شماره ۵۲۹۵۱<sup>TM</sup>ت ۲۸۸۴۰ در تاریخ ۱۳۸۷/۴/۱۱ به وزارتخانه‌های نیرو، جهادکشاورزی و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- ۲- اسدی، م.، صلاح کوچک‌زاده و ستوده‌نیا، ع. (۱۳۹۰)، راهنمای اندازه‌گیری جریان آب (ترجمه نشریه دفتر عمران اراضی ایالات متحده امریکا، USBR)، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱۴۴.
- ۳- امیری تکلدانی، الف. و سیاهی، م. ک. (۱۳۸۷)، طراحی کانال‌های آبیاری و سازه‌های وابسته، دانشگاه تهران، چاپ اول، شماره ۲۹۱۴.
- ۴- بای بوردی، م. (۱۳۸۴)، اصول زهکشی و بهسازی، دانشگاه تهران، چاپ نهم با تجدیدنظر.
- ۵- پاسپار، ف. (۱۳۸۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، تعریف و تعیین کمی شاخص‌های تفکیکی فیزیکی و بهره‌برداری عملکرد کانال‌های آبیاری با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیک، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی.
- ۶- پیش‌نویس دستورالعمل عمومی مطالعات امکان‌سنجی توسعه آبیاری تحت فشار (۱۳۸۵)، دفتر بهبود و توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی.
- ۷- پیش‌نویس راهنمای تهیه مشخصات فنی ساخت و نصب تجهیزات هیدرومکانیک سدهای انحرافی و شبکه‌های آبیاری و زهکشی (۱۳۸۷)، شرکت مدیریت منابع آب ایران- دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، شماره ۳۳۳-الف.
- ۸- تشکری، م. و سیاهی، م. ک. (۱۳۷۳)، تحلیلی بر راندمان‌های آبیاری (ترجمه نشریه شماره ۱۹ موسسه بین‌المللی احیای زمین، ILRI)، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول.
- ۹- جعفری، م. ص. (۱۳۸۷)، مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، شماره ۱۱۳، چاپ اول.
- ۱۰- حاج‌رسولی‌ها، ش. و داهی، م. ر. (۱۳۸۲)، کیفیت آب برای کشاورزی (ترجمه نشریه آبیاری و زهکشی شماره ۲۹ سازمان خواروبار و کشاورزی- فائو)، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول.
- ۱۱- حسن لی، ع. م. (۱۳۷۹)، روش‌های گوناگون اندازه‌گیری آب (هیدرومتری)، دانشگاه شیراز. شماره ۳۰۷، چاپ اول.
- ۱۲- دستورالعمل اجرایی خدمات بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی، (۱۳۷۶)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۱۷۰، چاپ اول.
- ۱۳- دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های آب و خاک (۱۳۸۶)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۴۶۷، چاپ اول.
- ۱۴- دستورالعمل حفر و تجهیز پیزومترهای مرکب (۱۳۷۶)، سازمان برنامه و بودجه کشور، شماره ۱۶۲، چاپ اول.



- ۱۵- دستورالعمل حفر و تجهیز چاهک‌های مشاهده‌ای (۱۳۷۵)، سازمان برنامه و بودجه کشور، شماره ۱۵۴، چاپ اول.
- ۱۶- راهنمای تحویل حجمی آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی (۱۳۸۳)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۳۸۴، چاپ اول.
- ۱۷- سهرابی، ت. (۱۳۹۰)، بررسی عملکرد آبیاری سطحی با استفاده از مدل NRCS-SURFACE در شبکه آبیاری قزوین- طرح پژوهشی شرکت مدیریت منابع آب ایران.
- ۱۸- ضوابط عمومی طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی (۱۳۸۳). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. شماره ۲۸۱، چاپ اول.
- ۱۹- ضوابط هیدرولیکی طراحی ساختمان‌های تنظیم سطح آب و آبگیرها در کانال‌های روباز (۱۳۸۷)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ضابطه شماره ۲۸۲. چاپ اول.
- ۲۰- ضوابط طراحی سامانه‌های آبیاری با لوله‌های کم‌فشار (۱۳۹۱)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۵۸۲، چاپ اول.
- ۲۱- ضوابط و معیارهای فنی آبیاری تحت فشار (طراحی) (۱۳۸۳). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. شماره ۲۸۶، چاپ اول.
- ۲۲- ضوابط و معیارهای فنی آبیاری تحت فشار (مشخصات فنی عمومی) (۱۳۹۲). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. شماره ۲۶۱ (تجدید نظر اول)، چاپ اول.
- ۲۳- ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی: اندازه‌گیرهای جریان (۱۳۷۳)، سازمان برنامه و بودجه کشور، شماره ۱۰۶، چاپ سوم.
- ۲۴- علیزاده، الف. و کمالی، غ. (۱۳۸۶)، نیاز آبی گیاهان در ایران، دانشگاه امام رضا (ع)، شماره ۱۱۵، چاپ اول.
- ۲۵- کسب‌دوز، ش.، منعم، م. ج. و کوچک‌زاده، ص. (۱۳۷۷)، کاربرد مدل هیدرودینامیک ICSS-POM در تعیین مناسب‌ترین گزینه توزیع آب در شبکه آبیاری، مطالعه موردی شبکه آبیاری قوری‌چای، نهمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۲۶- مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی شالیزاری، جلد اول: کلیات، تعاریف و مفاهیم پایه (۱۳۸۸). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۱-۴۷۱، چاپ اول.
- ۲۷- مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی شالیزاری، جلد دوم: آبیاری (۱۳۸۸). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۲-۴۷۱، چاپ اول.
- ۲۸- مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی خشکه‌زاری (آبیاری ثقلی)، جلد اول: کلیات، تعاریف و مفاهیم پایه (۱۳۸۵). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۱-۳۴۶، چاپ اول.



- ۲۹- مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی خشکه‌زاری (آبیاری ثقلی)، جلد دوم: ضوابط مبانی آبیاری و تسطیح اراضی کشاورزی (۱۳۸۵). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۲-۳۴۶، چاپ اول.
- ۳۰- مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی کشاورزی خشکه‌زاری (آبیاری ثقلی)، جلد چهارم: سازه‌های آبی و جاده‌های دسترسی (۱۳۸۵). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، شماره ۴-۳۴۶، چاپ اول.
- ۳۱- منصوری، م. ح. (۱۳۶۸)، راهنمای طبقه‌بندی اراضی برای آبیاری، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه ۲۰۵. چاپ اول.
- ۳۲- وزیر، ژ.، سلامت، ع.، انتصاری، م. ر.، مسچی، م.، حیدری، ن. و دهقانی سانچ، ح. (۱۳۸۷). تبخیر- تعرق گیاهان، دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان (ترجمه نشریه آبیاری و زهکشی شماره ۵۶ سازمان خواروبار و کشاورزی- فائو در سال ۱۹۹۸)، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱۲۲، چاپ اول.
- 33- Molden, D., T. Oweis, P. Steduto, P. Bindraban, Munir A. Hanjra, J. Kijne, (2010), Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution , Elsevier, Agricultural Water Management 97 (2010) 528–535
- 34- Haque, M. A., M. M. M. Najim, and T. S. Lee, (2004), Modeling irrigation water delivery schedule for rice cultivation in East Coast Malaysia, Tropical Agriculture Research, Vol. 16:204-213.
- 35- Howell, T. A., 2003, Irrigation efficiencies, Encyclopedia of Water Science, Pub. Marcel Dkker, Inc., pp: 467-472
- 36- Kangrang, A., and C. Chafecraktrakoon, (2007), An estimation of irrigation efficiency of limited water resource area, Journal of Applied sciences, 7(19):2744-2749.
- 37- Kangrang, A., and C. Chaleeraktrakoon, (2007), A Fuzzy-GA model for determining varied irrigation efficiency, American Journal of Applied Sciences 4(6):339-345.
- 38- Kraatz, D. B., (1977). Irrigation Canal Lining, Food and Agriculture Organization (FAO), Irrigation and Drainage Paper 2. Rome, Italy.
- 39- Laycock, A., (2007), Irrigation systems design, planning and construction, CAB International (CABI) Publishing.
- 40- Schuurmans, W., (1991), A model to study the hydraulic performance of controlled irrigation canals, The Center for Operational water Management, Delft University of Technology.
- 41- USDA- NRCS, (1993). National engineering handbook. Part 623, Irrigation Water Requirements. USDA- NRCS.





## خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه 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 [nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir) قابل دستیابی می‌باشد.



Encieh Mehrabi	Ministry of Energy Bureau of Technical, Engineering, Social and Environmental Standards of Water and Waste Water	MSc Irrigation Structures Engineering
Ahmad Mohseni	Abyari Noavar Sahra Consulting Engineers	PhD Agricultural Extension Engineering
Mohammad Javad Monem Maryam Yousefi	Tarbiat Modares University Iran Water Resource Management organization	PhD Water Resources Engineering MSc Water Resources Engineering

**Steering Committee:**

Alireza Toutouchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamezani	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department
Seyed Vahidoddin Rezvani	Expert in Irrigation & Drainage Engineering, Technical and Executive Affairs Department



## **Instruction for Determination of Irrigation Efficiency for Under Operation Irrigation and Drainage Networks [No.692]**

Executive Body: MahabGhodss Consulting Engineering  
Project Advisor: Jaleh Vaziri

### **Authors & Contributors Committee:**

Abbass Azadeh	MahabGhodss Consulting Engineering	BSc Agricultural Engineering- Soil Science
Shahab Daneshvar Kamiyar	YekomConsulting Engineering	MSc Civil (Water) Engineering
AbbassiNasirMahaleh	MahabGhodss Consulting Engineering	BSc Irrigation Engineering
Nima Najafi	MahabGhodss Consulting Engineering	MSc irrigation Engineering MSc Civil Engineering
Jaleh Vaziri	MahabGhodss Consulting Engineering	MSc Irrigation Engineering

### **Supervisory Committee**

Teymour Sohrabi	College of Agriculture and Natural Resources-University of Tehran	PhD Irrigation Engineering
Fathollah Kebriti	AmayeshAbMehvar Consulting Engineering	BSc Irrigation Engineering
Encieh Mehrabi	Ministry of Energy Bureau of Engineering and Technical Criteria for Water and Waste Water	MSc Irrigation Structures Engineering
Mohammad JavadMonem	Tarbiat Modares University	PhD Water Resources Engineering

### **Confirmation Committee:**

Seyed Asadollah Asadollahi	Ministry of Energy	MSc Irrigation and Drainage Engineering
Abdolhossein Behnamzadeh	Ministry of Jahadkeshavarzi	MSc Irrigation and Drainage Engineering
Mohamad SadeghJafari	MahabGhods Consulting Engineers	MSc Irrigation and Drainage Engineering
Seyed Mojtaba Razavi Nabavi	Ministry of Energy	PhD Irrigation and Drainage Engineering
Mehرداد Zaryab	Panir Consulting	BSc Civil Engineering
Mohammad Kazem Siahi	Pandam Consulting Engineers	MSc irrigation and Drainage Engineering MSc Civil Engineering
Mohammad Hasan Abdollah Shamshirsaz	Pazhouhab Consulting Engineers	MSc irrigation and Drainage Enginee



## Abstract

Irrigation efficiency and water productivity are indices used to quantify the beneficial use of water diverted for irrigation purposes to a farm, field or irrigation and drainage network.

In irrigation and drainage network, the flow of water from the points of diversion to the points of consumption, can be regarded as three separate processes; conveyance, distribution, and field application. In these three processes water is lost in different ways such as: seepage from canals and/or pipelines, evaporation from the water and soil surfaces, deep percolation below the plant root zone, consumptive use by non-crop vegetation, operational spills and leakage through and around the head-gates and other structures and may not be directly usable for network operator

Irrigation efficiency and water productivity can be used for improving the management of operation and maintenance and prioritizing of rehabilitation measures of irrigation and drainage networks.

This instruction provides the procedures for determining the conveyance, distribution, operation and field application efficiencies and water productivity of irrigation and drainage networks and expresses the methods, equipments, and related formulations for this purpose. The points selection methods to determining of required parameters are also presented. Due to irrigation scheduling variability, timing period for data collection is provided.

Irrigation efficiency could be used for performance assessment of irrigation and drainage networks, which is out of the scope of this instruction.





**Islamic Republic of Iran  
Management and Planning Organization**

# **Instruction for Determination of Irrigation Efficiency for Under Operation Irrigation and Drainage Networks**

**No. 692**

Office of Deputy for Technical and  
Infrastructure Development Affairs  
Department of Technical and Executive  
Affairs  
**nezamfanni.ir**

Ministry of Energy  
Bureau of Technical, Engineering, Social and  
Environmental standards of water and waste water  
**<http://seso.moe.gov.ir>**



## این ضابطه

با عنوان «دستورالعمل تعیین بازده آبیاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری» رویه‌ای برای تعیین بازده‌های انتقال، توزیع، کاربرد، بهره‌برداری و نیز بهره‌وری آب از دیدگاه تولید محصول را ارائه می‌نماید.

در این ضابطه، روش‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری عوامل مورد نیاز تعیین بازده و بهره‌وری آب آبیاری براساس مشخصات فیزیکی و مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دقت اندازه‌گیری، دانش فنی، توانمندی بهره‌برداران، دسترسی و سهولت به‌کارگیری بررسی و انتخاب و روابط محاسباتی مربوطه ارائه شده‌اند. همچنین با توجه به متغیر بودن برنامه آبیاری، شبکه زمان اندازه‌گیری‌ها در دوره بهره‌برداری مشخص شده است.

