

نشریه فنی:

نکات فنی و کاربردی در ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

مهدی اکبری



بسم الله الرحمن الرحيم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی:

نکات فنی و کاربردی در ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

تهیه و تدوین:

مهدی اکبری

عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار: ۱۴۰۴



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی



نوع نوشتار: نشریه فنی
عنوان نوشتار: نکات فنی و کاربردی در ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای
نگارنده: مهدی اکبری
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: شبنم جباری
طراح جلد: سمیه وطن‌دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۴



مسئولیت صحت مطالب با نگارنده است.

شماره ثبت ۶۸۷۲۷ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۴/۱۱/۰۷

مخاطبان نشریه:

کارشناسان آب و خاک

کارشناسان و مروجان مسئول پهنه

شرکت‌های خدمات مهندسی کشاورزان

کشاورزان پیشرو و بهره برداران سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

هدف‌های آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- تجهیزات بخش کنترل مرکزی سامانه‌های آبیاری
- مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از تجهیزات
- ابزارهای مورد نیاز ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای
- مفاهیم، مراحل اجرایی و روش صحیح ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۱	کلیات
۲	مزایا و محدودیت‌های آبیاری قطره‌ای
۵	تجهیزات اصلی بخش کنترل مرکزی
۶	یکنواختی توزیع آب توسط قطره‌چکان‌ها
۷	عوامل عمده موثر در یکنواختی توزیع آب و کود
۸	سه شرط اصلی موفقیت سامانه آبیاری قطره‌ای
۸	نکات فنی و کاربردی پیش از هر گونه بهره‌برداری از سامانه آبیاری قطره‌ای
۸	نکات فنی و کاربردی در مدیریت بهره‌برداری و نگهداری
۱۰	اطلاعات مورد نیاز ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای
۱۱	مشخصات هیدرولیکی سامانه آبیاری قطره‌ای
۱۳	شاخص‌های ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای
۲۰	وسایل و تجهیزات مورد نیاز ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای
۲۱	مراحل اجرایی ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای
۲۶	ارزیابی سامانه آبیاری و ارائه راهکارهای بهبود عملکرد آن
۳۳	پیشنهادهای کاربردی با توجه به نتایج ارزیابی
۳۴	فهرست منابع

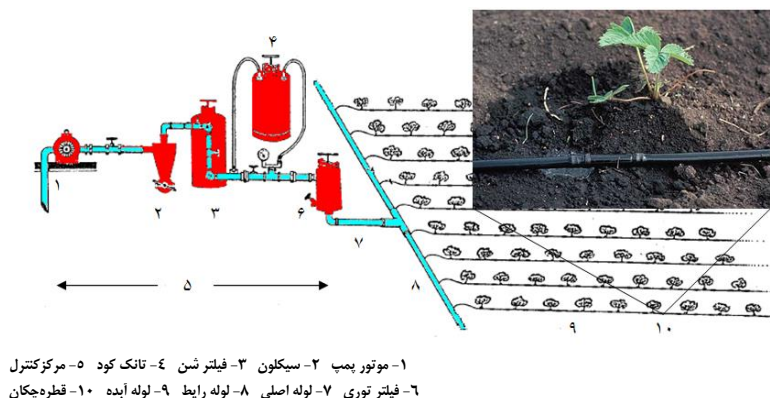
مقدمه

محدودیت منابع آب در کشور باعث شده است تا روش‌های آبیاری تحت فشار از جمله روش آبیاری قطره‌ای در سال‌های اخیر جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی به دست آورند. در روش آبیاری قطره‌ای، فقط نزدیک ریشه گیاه آبیاری می‌شود و بخشی از زمین که فاقد گیاه است آبیاری نمی‌شود. در این روش آبیاری، آب در داخل مزرعه با لوله منتقل و توزیع و از تلفات انتقال جلوگیری می‌شود. در سامانه آبیاری قطره‌ای، علاوه بر قطره‌چکان‌ها، به تجهیزات مختلفی مانند صافی‌های شنی، فیلترهای توری یا دیسکی، تجهیزات تزریق کود و مواد شیمیایی نیاز است که بسته به وضعیت کمی و کیفی آب، باید در زمان طراحی مد نظر قرار گیرد. اگر در طراحی و اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای دقت لازم به کار برده شود و از تجهیزات و وسایل با کیفیت استفاده شود، اما مدیریت بهره‌برداری و نگهداری درست نباشد، این سامانه‌ها در مدت زمانی کوتاه پس از بهره‌برداری با مشکل جدی مواجه می‌شوند. بنابراین، پس از طراحی و اجرای سامانه، لازم است سامانه آبیاری در حین بهره‌برداری از جنبه‌های مختلف فنی و بهره‌برداری ارزیابی شود و نقاط ضعف و قوت آن تعیین گردد. در این نشریه فنی سعی شده است ضمن معرفی اجزا و تجهیزات مورد نیاز سامانه آبیاری قطره‌ای، به شاخص‌ها و نکات کلیدی در ارزیابی آن سامانه و مدیریت بهره‌برداری از سامانه پرداخته شود.

کلیات

در روش آبیاری قطره‌ای، آب از یک منبع مرکزی دریافت و با دبی و فشار مناسب که توسط پمپ تأمین می‌شود، در داخل شبکه‌ای از لوله‌های اصلی، نیمه اصلی، رابط (مانیفولد) و آبده (لترال) جریان می‌یابد. لوله‌های آبده که معمولاً از کنار ردیف گیاهان عبور می‌کنند مجهز به قطره‌چکان‌هایی هستند که جریان آب توسط آنها با فشار کم روی زمین پخش می‌شود (شکل ۱). از وسایل و تجهیزات مورد استفاده در بخش کنترل مرکزی این سامانه‌ها می‌توان به شیرهای یک‌طرفه، قطع و وصل، اتصالات و تجهیزات تزریق کود، سم و اسید

و ادوات اندازه‌گیری و تصفیه آب اشاره کرد. عملکرد صحیح سامانه آبیاری قطره‌ای به عوامل مختلفی از جمله طراحی و اجرای صحیح، استفاده از تجهیزات و وسایل با کیفیت، مدیریت بهره‌برداری، سرویس و نگهداری مناسب بستگی دارد (اکبری، ۱۳۷۷؛ اکبری و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۱- اجزای یک سامانه آبیاری قطره‌ای

مزایا و محدودیت‌های آبیاری قطره‌ای

این روش آبیاری نیز مانند دیگر روش‌های آبیاری دارای نقاط ضعف و قوت مرتبط با مسائل فنی، اقتصادی یا عوامل مربوط به آب، خاک و گیاه است. برخی از مزیت‌ها و معایب سامانه آبیاری قطره‌ای در زیر شرح داده می‌شوند (اکبری، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳؛ اکبری و کوچک‌زاده، ۱۳۹۱):

الف- برخی از مزیت‌های آبیاری قطره‌ای

روش آبیاری قطره‌ای در مقایسه با روش‌های آبیاری بارانی، کرتی یا جوی و پشته‌ای دارای مزایایی به شرح زیر است:

صرفه جویی در مصرف آب: در آبیاری قطره‌ای به دلیل خیس نشدن بخش‌هایی از سطح مزرعه، کاهش تبخیر از سطح خاک، نبود رواناب و کنترل نفوذ عمقی، مقدار مصرف آب کم می‌شود. علاوه بر این، در آبیاری قطره‌ای می‌توان از آب‌های با کیفیت پایین نیز استفاده کرد.

رشد بهتر گیاه و افزایش محصول: در این روش آبیاری نیاز آبی گیاه تأمین می‌شود، رطوبت منطقه ریشه همیشه در حد مطلوب باقی می‌ماند و گیاه برای جذب آب دچار کمبود نمی‌شود. بنابراین گیاه کمتر دچار تنش‌های آبی می‌شود و اگر بجز آبیاری دیگر شرایط برابر باشد، مقدار محصول تولیدی بیشتر از سایر روش‌ها و یا حداقل برابر با آنها است. کاهش اثرهای زیان‌آور شوری بر گیاه: در روش آبیاری قطره‌ای، چون همیشه خاک مرطوب نگه داشته می‌شود، میزان آب موجود در خاک نزدیک به ظرفیت زراعی است و به دلیل رقیق بودن غلظت املاح در محلول خاک، تاثیر شوری کمتر است تا در دیگر روش‌های آبیاری.

امکان کاربرد کود و سم همراه آبیاری: در آبیاری قطره‌ای این امکان وجود دارد که کودهای شیمیایی انحلال‌پذیر در آب را به تدریج همراه آب آبیاری در کنار بوته گیاه یا درخت و در عمق توسعه ریشه، با یکنواختی مناسب وارد خاک کرد. علاوه بر کودها، قارچ کش‌ها، حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها را نیز می‌توان همراه با آب به خاک داد.

کاهش رویش علف‌های هرز: در روش آبیاری قطره‌ای بذر علف‌های هرز با آب آبیاری منتقل نمی‌شود و تمام سطح مزرعه نیز خیس نمی‌شود، علف‌های هرز کمتر می‌رویند. چنانچه باغ یا مزرعه به طور مداوم با روش قطره‌ای آبیاری شود و با علف‌های هرز مبارزه شود، کل بذر علف‌های هرز در مزرعه کاهش قابل توجهی می‌یابد.

بالا بودن راندمان آبیاری: در مجموع، راندمان روش آبیاری قطره‌ای در دنیا حدود ۸۵ تا ۹۰ درصد برآورد شده است. در صورت طراحی، اجرا و بهره‌برداری صحیح، این سامانه می‌تواند بالاترین راندمان را در بین دیگر سامانه‌های آبیاری داشته باشد.

ب- برخی از محدودیت‌های آبیاری قطره‌ای

گرفتگی قطره‌چکان‌ها: باتوجه به اینکه معمولاً ذرات خاک، مواد آلی، باکتری‌ها و جلبک‌ها که قطر آنها از مجرای فیلترها کوچکتر است، همراه آب آبیاری منتقل می‌شوند و از طرف دیگر مجرای خروج آب در قطره‌چکان‌ها کوچک است، در صورت ورود این ناخالصی‌ها به سامانه آبیاری باعث گرفتگی خروجی‌ها خواهد شد. از این رو یکی از مسائل مهم سامانه آبیاری قطره‌ای، گرفتگی قطره‌چکان‌ها است که ممکن است باعث شکست طرح شود. برای رفع این مشکل راهکارهای مختلفی ارائه شده است. از جمله این راهکارها، می‌توان به استفاده از قطره‌چکان‌هایی که نسبت به گرفتگی مقاوم‌اند و همچنین تصفیه آب، اصلاح شیمیایی آب، شستشوی لوله‌ها و قطره‌چکان‌ها اشاره کرد.

خسارت‌های ناشی از حمله جوندگان: در بعضی مناطق، ممکن است لوله‌های آبده که دارای قطر کم و از جنس پلی‌اتیلن هستند، توسط جوندگانی مانند موش آسیب ببینند.

تجمع نمک در سطح خاک: در مناطق خشک و نیمه خشک که معمولاً آب آبیاری لب شور است، در سطح خاک و حاشیه پیاز رطوبتی، نمک تجمع می‌یابد و اگر بارندگی رخ دهد، چنانچه سامانه در حال کار نباشد، نمک‌هایی که در منطقه مرطوب خاک اطراف ریشه تجمع یافته‌اند، به سمت منطقه ریشه هجوم می‌آورند و باعث وارد شدن خسارت به گیاه می‌شوند. در صورتی که آبشویی اجرا نشود در دوره رشد محصول یا در پایان آن، شرایط برای رشد گیاه در سال زراعی بعدی مناسب نخواهد بود. در مناطقی که میزان بارندگی بیش از ۳۵۰ میلی‌متر است، پیش از آنکه نمک‌ها در منطقه ریشه تجمع یابند، با آب ناشی از بارندگی شسته می‌شوند.

حرکت محدود آب در خاک و توسعه نیافتن زیاد ریشه: در توزیع آب در خاک، عوامل متعددی دخالت دارد مانند خاک (بافت و خصوصیات نفوذ)، گیاه (جذب آب و شدت تعرق)، مقدار و فاصله آبیاری‌ها، تعداد قطره‌چکان‌ها برای هر گیاه و دبی آنها. چنانچه به هر دلیل محیط توسعه ریشه محدود شود، رشد گیاه نیز محدود و گیاه در مقابل عوامل خارجی، مانند باد، مقاومت خود را از دست می‌دهد.

تجهیزات اصلی بخش کنترل مرکزی

برای اینکه سامانه آبیاری قطره‌ای بتواند درست کار کند، به وسایل و تجهیزاتی نیاز است که این مجموعه وسایل و تجهیزات سامانه کنترل مرکزی را تشکیل می‌دهند. بسته به نوع منبع آب به لحاظ کیفیت و یا نوع خروجی‌ها، تعداد و نوع تجهیزات مورد استفاده در کنترل مرکزی متفاوت است (غفاری و همکاران ۱۳۹۴). برخی از این لوازم تجهیزات عبارت‌اند از:

جداکننده‌های شن یا هیدروسیکلون: در این دستگاه، در اثر چرخش آب در داخل آن و ایجاد نیروی گریز از مرکز، ذرات جامد درشت شن و ماسه معلق در آب جدا می‌شوند. صافی‌های شنی: برای جدا کردن مقادیر زیاد ذرات جامد ریز لای و مواد آلی از آب به کار می‌روند.

دستگاه‌های تزریق کود و سم: این دستگاه‌ها به روش‌های مختلف، از جمله تانک کود، پمپ تزریق و ونتوری، کود و سم را وارد جریان آب می‌کنند. صافی‌های توری یا دیسکی: برای جدا کردن ذرات ریز لای (۵۰ تا ۲۰۰ میکرون) و مواد آلی معلق به کار می‌روند.

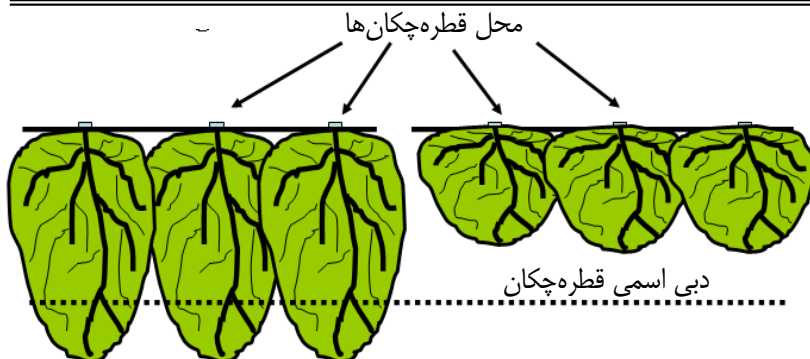
وسایل اندازه‌گیری آب برای کنترل میزان آب مصرفی
فشارسنج‌ها برای کنترل عملکرد سامانه و تجهیزات تصفیه آب
شیرهای کنترل جریان و فشار به منظور ثابت نگه داشتن فشار پایین‌دست مستقل از نوسان‌ها در بالادست در شرایطی که فشار ورودی بیشتر از فشار تنظیمی تعریف شده است. در زیر تصاویر مربوط به تجهیزات سامانه کنترل مرکزی آبیاری قطره‌ای آمده است (شکل ۲).



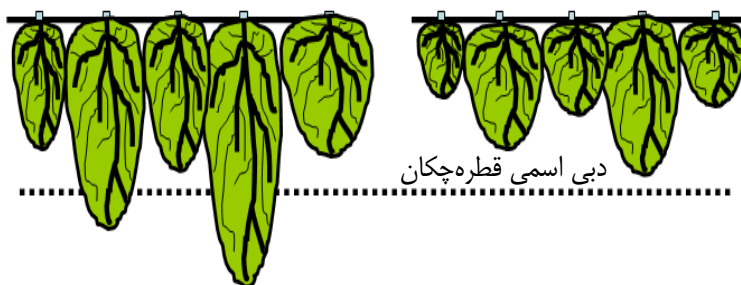
شکل ۲- نمونه‌ای از تجهیزات یک سامانه کنترل مرکزی آبیاری قطره‌ای

یکنواختی توزیع آب توسط قطره‌چکان‌ها

در شکل ۳ و ۴ نمایی از یکنواختی و غیریکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها با دبی اسمی تفاوت دارد ولی دبی واقعی قطره‌چکان‌ها بطور کاملاً یکنواخت کمتر یا بیشتر از دبی اسمی است. این موضوع به راحتی با افزایش یا کاهش زمان آبیاری قابل جبران است. ولی همان‌طوری که در شکل ۴ نشان داده شده است، دبی خروجی قطره‌چکان‌ها متفاوت است و از روند خاصی پیروی نمی‌کنند، که با تغییر زمان آبیاری اصلاح گردد و این مسئله موجب کاهش یکنواختی توزیع آب می‌شود.



شکل ۳- دبی خروجی یکنواخت قطره‌چکان‌ها و تغییرات آن نسبت به دبی اسمی



شکل ۴- دبی خروجی غیر یکنواخت قطره‌چکان‌ها و تغییرات آن نسبت به دبی اسمی

عوامل عمده موثر در یکنواختی توزیع آب و کود

- کیفیت آب
- نوع قطره‌چکان
- یکنواختی ساخت قطره‌چکان
- هیدرولیک توزیع آب
- یکنواختی توزیع قابل انتظار
- تجهیزات تصفیه آب و تزریق مواد شیمیایی

سه شرط اصلی موفقیت سامانه آبیاری قطره‌ای

- طراحی صحیح با در نظر گرفتن مبانی هیدرولیکی
- اجرای مناسب با استفاده از وسایل با کیفیت
- مدیریت بهره برداری و نگهداری صحیح

نکته: اگر در طراحی و اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای دقت لازم به کار برده شود و از تجهیزات و وسایل با کیفیت استفاده شود، اما مدیریت بهره‌برداری و نگهداری به درستی پیش نرود، این سامانه‌ها در مدت زمانی کوتاه پس از بهره‌برداری با مشکل جدی مواجه می‌شوند. به همین دلیل مدیریت بهره‌برداری و نگهداری اهمیت بالایی دارد.

نکات فنی و کاربردی پیش از هر گونه بهره‌برداری از سامانه آبیاری قطره‌ای

- شستشوی اولیه کل لوله‌های سامانه آبیاری پیش از هر گونه بهره‌برداری
- ارزیابی فنی سامانه بلافاصله بعد از اجرای سامانه آبیاری و شستشوی آن
- شناسایی عوامل مؤثر بر ناکارایی و غیریکنواختی توزیع آب (تنظیم فشار، اصلاح سامانه فیلتراسیون، اصلاح کیفی آب و)
- جلوگیری از ورود ذرات خاک، مواد معلق و مواد بیولوژیکی به آب در هنگام انتقال آب از محل منبع آب تا محل سامانه آبیاری
- شستشو، لایروبی و نگهداری خوب استخرهای ذخیره آب
- تصفیه مناسب آب در سامانه کنترل مرکزی (انواع فیلترها، اندازه فیلترها و کنترل فشار به منظور تعیین زمان لازم شستشوی فیلترها)

نکات فنی و کاربردی در مدیریت بهره‌برداری و نگهداری

- در نظر گرفتن عمق و دور آبیاری طبق برنامه‌ریزی در طراحی سامانه

- تنظیم فشار مورد نیاز سامانه در ابتدای شبکه مطابق با آنچه در طراحی پیشنهاد شده است.
- انتخاب تعدادی از قطره‌چکان‌ها به عنوان شاخص و اندازه‌گیری دبی و فشار در آنها
- حداقل یک بار در هر فصل آبیاری برای کیفیت مناسب آب
- حداقل هر سه ماه یک بار برای آبهای با کیفیت پایین
- عملیات شستشوی فیلترها به طور مرتب و برنامه ریزی شده
- شستشوی کامل سامانه آبیاری
- در شروع فصل آبیاری
- با توجه به کیفیت آب به صورت فصلی یا حداقل سه ماه یک بار
- اجرای سرویس‌های معمول روزانه (روغن کاری بازرسی و کنترل فشار و ...)

نکته کلیدی

شستشوی اولیه کل لوله‌ها و تجهیزات سامانه آبیاری پیش از هرگونه بهره‌برداری و نیز ارزیابی فنی سامانه بلافاصله بعد از اجرای سامانه آبیاری و در ابتدای بهره‌برداری از سامانه، یکی از نکات کلیدی استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای است که یا بدان توجه نمی‌شود یا به‌درستی اجرا نمی‌شود. در این نشریه سعی بر آن است تا ضمن ارائه شاخص‌های علمی ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، مراحل صحیح اجرایی آن نیز ارائه گردد. برای ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای براساس استاندارد بین‌المللی انجمن مهندسان کشاورزی ایالات متحده آمریکا، ASAE و دستورالعمل پیشنهادی مریام و کلر در سال ۱۹۷۸ میلادی که دارای اعتبار جهانی است، به اطلاعات و شاخص‌های مختلفی نیاز است که در ادامه تشریح می‌گردد (مریام و کلر^۱، ۱۹۷۹؛ محمد^۲، ۲۰۱۳؛ بایدرد^۳ و همکاران، ۲۰۲۵).

1- Merriam and Keler

2- Mohamed

3- Baydar

اطلاعات مورد نیاز ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای

اطلاعات مربوط به خاک

بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم

اندازه‌گیری و تعیین اطلاعات گیاهی

برای هر سامانه باید نوع محصول، سن درختان، فاصله‌ها و الگوی کشت، عمق توسعه ریشه، درصد سطح سایه‌انداز، نیاز آبی درختان و ضریب تخلیه مجاز رطوبت خاک (MAD) مشخص گردد. برخی از این اطلاعات با استفاده از دفترچه‌های طراحی یا مصاحبه با بهره‌بردار قابل دسترس است ولی برخی از اطلاعات از جمله دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها، حداقل فشار ورودی به لوله آبد، سطح خیس شده در اطراف گیاه نیاز به اندازه‌گیری مزرعه‌ای دارد.

مشخصات فنی قطره‌چکان‌ها

نوع قطره‌چکان، فاصله قطره‌چکان‌ها، دبی قطره‌چکان، فشار طراحی شده، تعداد قطره‌چکان در نظر گرفته شده برای هر گیاه

اطلاعات مدیریتی سامانه

دور آبیاری، مدت زمان آبیاری، عمق خالص آبیاری، عمق ناخالص آب آبیاری
میزان آب آبیاری و رطوبت خاک پیش از آبیاری خاک بر سطح خیس شده در اطراف هر گیاه موثر است. این پارامتر از جمله پارامترهایی است که باید در مزرعه اندازه‌گیری شود. برای تعیین مساحت خیس شده درخت در هر یک از لوله‌های آبد مورد ارزیابی، مساحت خیس شده در عمق‌های ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری با استفاده از پروفیل یا مته نمونه برداری خاک مشخص می‌شود (شکل ۵). در عمل با تعیین طول پیشروی رطوبت در اطراف هر درخت سطح خیس شده برآورد و با تقسیم سطح خیس شده بر کل مساحت اختصاص یافته به هر درخت (حاصل ضرب فاصله درختان در روی هر دریف در فاصله ردیف درختان)، درصد مساحت خیس شده تعیین می‌شود.



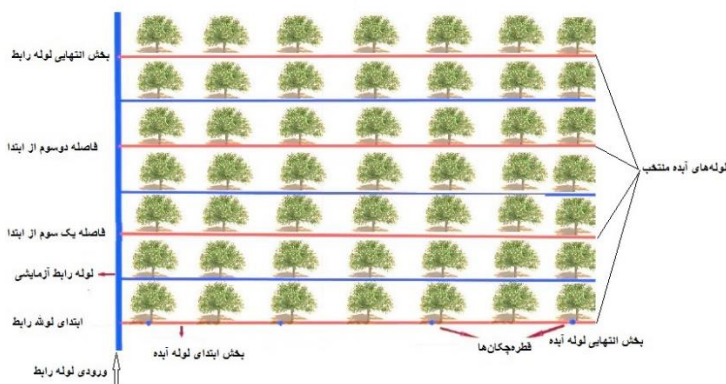
شکل ۵- نمایی از سطح خیس شده توسط یک قطره‌چکان

مشخصات هیدرولیکی سامانه آبیاری

این پارامترها شامل این موارد است: تعیین میزان فشار ورودی به فیلترها، میزان فشار خروجی از فیلترها، افت فشار در بخش فیلتراسیون، حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبد، میانگین حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبد در لوله‌های رابط در حال کار، میانگین دبی قطره‌چکان‌ها، یکنواختی پخش آب، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین، راندمان واقعی کاربرد آب در ربع پایین.

اندازه‌گیری برخی از پارامترها مانند فشار ورودی و خروجی از فیلترها ساده است در صورتی که تجهیزات لازم در محل مورد نظر نصب شده باشد. ولی اندازه‌گیری برخی از پارامترها مانند حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبد و میانگین دبی قطره‌چکان‌ها ساده نیست. برای اندازه‌گیری آبدی، ابتدا باید با انتخاب یکی از لوله‌های رابط در حال کار، چهار لوله فرعی آبد به ترتیب در ابتدا، در یک سوم فاصله از ابتدا، در دو سوم فاصله از ابتدا و در انتهای این لوله رابط انتخاب شود. پس از آن چهار محل (درخت) به ترتیب در ابتدا، در یک

سوم فاصله از ابتدا، در دو سوم فاصله از ابتدا و در انتهای لوله‌های آبدۀ انتخاب و برای هر محل، با انتخاب حداقل دو قطره‌چکان، مقدار آبدۀ در مدت زمانی مشخص به‌روش حجمی اندازه‌گیری گردد (شکل ۶). همچنین در ابتدا و انتهای چهار لوله آبدۀ انتخابی، مقدار فشار اندازه‌گیری شود. برای تعیین فاکتور کاهش راندمان و فاکتور تصحیح دبی، مقدار حداقل فشار ورودی لوله آبدۀ (MLIP) در لوله‌های رابط در حال کار تعیین گردد (مریام و کلر، ۱۹۷۹؛ السالامی^۱ و همکاران، ۲۰۲۵؛ بایدار و همکاران، ۲۰۲۵).



شکل ۶- محل‌های اندازه‌گیری دبی قطره‌چکان‌ها در زیر بخش لوله رابط انتخاب شده

تهیه این حجم از اطلاعات و شاخص‌های عملکردی در سامانۀ آبیاری قطره‌ای به‌آسانی قابل دسترس نیست و لازم است ابتدا یک ارزیابی اجمالی از تمام اجزای سامانه به لحاظ فنی (بررسی از لحاظ تطابق طرح اجرا شده در روی زمین با نقشه و دفترچه طرح)، هیدرولیکی، و مدیریتی صورت گیرد. دفترچه‌های طراحی سامانه تهیه و اطلاعات مندرج در دفترچه بررسی شود و سپس با حضور در محل اجرای سامانه، اندازه‌گیری‌های لازم انجام گیرد و شاخص‌های ارزیابی سامانه محاسبه شود. در ادامۀ این بخش، پارامترها و شاخص‌های

اصلی مورد نیاز برای ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای براساس استاندارد بین‌المللی انجمن مهندسان کشاورزی ایالات متحده آمریکا، ASAE و دستورالعمل پیشنهادی مریام و کلر در سال ۱۹۷۸ میلادی که دارای اعتبار جهانی است، آورده شده است:

شاخص‌های ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری قطره‌ای

حداقل فشار ورودی به لوله‌ی فرعی (MLIP)

از هر لوله‌ی رابط تعدادی لوله‌ی آبدۀ آگیری می‌کنند که یکی از آنها دارای حداقل فشار ورودی است که به آن حداقل فشار ورودی لوله‌ی آبدۀ MLIP گفته می‌شود.

ضریب تصحیح دبی (DCF)

اگر حداقل فشار ورودی به لوله‌ی آبدۀ در لوله‌ی رابط مورد آزمایش (MLPI_{test}) بیشتر یا کمتر از شاخص فوق در سامانه‌ی در حال کار (MLPI_{avg}) باشد، دبی خروجی اندازه‌گیری شده از قطره‌چکان‌های یک واحد آبیاری تحت آزمایش نمایانگر دبی قطره‌چکان‌های کل سامانه در حال کار نیست و ضروری است میانگین دبی قطره‌چکان‌ها توسط ضریب تصحیح دبی از طریق رابطه‌ی ۱ اصلاح شود.

$$DCF = \frac{2.5 \times MLIP_{avg}}{MLIP_{avg} + 1.5 \times MLIP_{test}} \quad (1)$$

در رابطه‌ی ۱: MLIP_{avg} میانگین حداقل فشارهای ورودی در لوله‌های آبدۀ کل سامانه و MLIP_{test} حداقل فشار ورودی در لوله‌های آبدۀ در حال آزمایش است.

ضریب کاهش راندمان (ERF)

فشار در لوله‌های رابط در حال کار اگر به صورت یکسان تنظیم نشده باشد، بازدهی کل سامانه کمتر از بازدهی لوله‌ی رابط مورد آزمایش است. البته در اغلب سامانه‌ها وسایل کنترل یا تنظیم‌کننده‌ی فشار در ورودی لوله‌ی رابط نصب می‌شود. با این حال، اگر فشار ورودی به لوله‌های رابط یکسان نباشد، بازدهی کل سامانه کمتر از بازدهی لوله‌ی رابط مورد آزمایش است. از این رو برای محاسبه‌ی ضریب کاهش بازدهی از حداقل فشار ورودی لوله‌ی آبدۀ در

طول هر یک از لوله‌های رابط در حال آبیاری سامانه استفاده و مقدار ضریب کاهش بازدهی از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود (مریام و کلر، ۱۹۷۹؛ بایدر و همکاران، ۲۰۲۵).

$$ERF = \frac{MLIP_{avg} + 1.5 \times MLIP_{min}}{2.5 \times MLIP_{avg}} \quad (2)$$

در رابطه ۲: $MLIP_{min}$ حداقل فشارهای ورودی در لوله‌های آبدۀ سامانه در حال کار است. یکنواختی پخش آب در مزرعه (EUs)

برای تعیین بازدهی سامانه و برآورد عمق ناخالص آب آبیاری، آگاهی از یکنواختی پخش آب در مزرعه ضروری است. یکنواختی پخش آب سامانه (EUs) تابعی از یکنواختی پخش آب در ناحیه مورد آزمایش و تغییرات فشار در سرتاسر سامانه است. وقتی داده‌های آزمایشی دبی قطره‌چکان تنها مربوط به یک لوله رابط آزمایشی است، یکنواختی پخش آب در لوله رابط آزمایش EUm از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌شود (الامین^۱ و همکاران، ۲۰۱۷؛ اسلامی و همکاران، ۲۰۲۵؛ ASAE, 1996 and 2003)

$$EUm = 100 \times \frac{Q_n}{Q_m} \quad (3)$$

در این رابطه: EUm یکنواختی خروج آب از قطره‌چکان‌ها در ناحیه لوله رابط مورد آزمایش (درصد)، Q_n میانگین دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها در ربع پایین در ناحیه لوله رابط مورد آزمایش، و Q_m میانگین دبی خروجی از کل قطره‌چکان‌ها در ناحیه لوله آبدۀ مورد آزمایش (لیتر بر ساعت) است. حداقل فشار ورودی به لوله آبدۀ در لوله رابط مورد آزمایش اگر بیشتر یا کمتر از شاخص فوق در سامانه در حال کار باشد، لازم است میانگین‌های محاسبه شده براساس ضریب تصحیح دبی با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵ برای سامانه اصلاح گردد.

$$Q_{n_s} = DCF \times Q_n \quad (4)$$

$$Q_{m_s} = DCF \times Q_m \quad (5)$$

در این رابطه‌ها: Qn_s میانگین دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها در ربع پایین سامانه و Qm_s میانگین دبی خروجی کل قطره‌چکان‌های سامانه (لیتر بر ساعت) است. با توجه به تعریف فاکتور کاهش بازدهی، یکنواختی پخش آب سامانه (EUS) از طریق رابطه ۶ به دست می‌آید و برای سامانه‌هایی که یک یا چند فصل آبیاری از بهره‌برداری آن‌ها گذشته باشد بر اساس جدول ۱ طبقه بندی می‌شود.

$$EU_s = ERF \times EU_m \quad (۶)$$

راندمان پتانسیل کاربرد ربع پایین (PELQ)

راندمان پتانسیل کاربرد کم‌ترین ربع اشاره دارد به عملکرد سامانه که مدیریت آن نسبتاً خوب و آبیاری نیز مناسب است و در سامانه‌های آبیاری به صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود:

$$PELQ = \frac{\text{میانگین کمترین ربع عمق نفوذ که برابر MAD باشد}}{\text{میانگین عمق آبیاری پس از اینکه MAD جبران شده باشد}} \times ۱۰۰ \quad (۷)$$

در رابطه ۷: MAD کمبود رطوبت مجاز خاک است.

جدول ۱- طبقه‌بندی راندمان سامانه براساس یکنواختی پخش آب

(مریام و کلر، ۱۹۷۹)

یکنواختی پخش سامانه (EUS)	راندمان سامانه
۹۰٪	عالی
۸۰٪ - ۹۰٪	خوب
۷۰٪ - ۸۰٪	نسبتاً خوب
< ۷۰٪	ضعیف

در ارزیابی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، مفهوم PELQ باید دگرگون شود زیرا در این روش تنها بخشی از مساحت خاک خیس می‌شود و حداقل عمق آب آبیاری در حاشیه ناحیه خیس شده برابر صفر است. به دلیل اینکه در این روش تنها بخشی از حجم خاک خیس می‌شود

باید پیوسته کمبود رطوبت خاک (SMD) را جبران کرد. تخمین SMD توسط داده‌های هواشناسی یا وسایل تبخیرسنجی همواره دارای مقداری خطاست، بنابراین باید به نوعی ضریب اطمینان را اعمال کرد. به عنوان قاعده‌ای کلی، نقاطی از سطح زمین که کمترین آب را دریافت می‌کنند، باید تقریباً با ۱۰ درصد آب بیشتر از مقدار تبخیر و تعرق یا SMD تخمینی، آبیاری شوند. در نتیجه، برای سامانه آبیاری قطره‌ای راندمان پتانسیل کاربرد ربع پایین از رابطه ۸ محاسبه می‌شود (مریام و کلر، ۱۹۷۹).

$$PELQ_m = 0.9 \times EU_m \quad (۸)$$

در رابطه ۸: EU_m یکنواختی پخش آب لوله رابط آزمایشی و $PELQ_m$ مربوط به راندمان پتانسیل کاربرد ربع پایین در قطعه مورد آزمایش است و راندمان پتانسیل کاربرد کم‌ترین ربع سامانه از رابطه‌های ۹ یا ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$PELQ_s = ERF \times PELQ_m \quad (۹)$$

$$PELQ_s = 0.9 \times EU_s \quad (۱۰)$$

معیارهای کلی برای توصیف عملکرد راندمان واقعی و پتانسیل کاربرد ربع پایین سامانه براساس دستورالعمل اداره حفاظت خاک آمریکا (SCS)، برای سامانه‌هایی که یک یا چند فصل از بهره‌برداری آنها گذشته است در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی راندمان سامانه براساس راندمان واقعی و پتانسیل کاربرد ربع پایین سامانه (SCS، ۱۹۸۴)

عملکرد سامانه	راندمان واقعی یا پتانسیل کاربرد ربع پایین سامانه
عالی	> ۹۰٪
خوب	۸۰٪ - ۹۰٪
نسبتاً خوب	۷۰٪ - ۸۰٪
ضعیف	< ۷۰٪

راندمان واقعی کاربرد ربع پایین (AELQ)

مؤثر بودن سامانه آبیاری قطره‌ای از طریق مشخص کردن مقدار آب ذخیره شده در منطقه ریشه، که برای مصرف گیاه قابل استفاده است، امکانپذیر می‌گردد. از این رو پیش از پرداختن به راندمان واقعی در ربع پایین باید به میزان آب مورد نیاز گیاه پرداخته شود.

تعیین نیاز آب آبیاری

تعرق روزانه در سامانه‌های آبیاری از طریق رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$Td = Ud(Ps + 0.15(1 - Ps)) \quad (11)$$

در این رابطه: Td تعرق روزانه در آبیاری قطره‌ای که فقط بخشی از زمین آبیاری می‌شود، در دوره‌ای که نیاز آبی گیاه حداکثر است (میلی‌متر در روز)، Ud نیاز آبی یا تبخیر تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر در روز)، Ps درصد سایه انداز گیاه است (اعشار). حداکثر نیاز آبی روزانه از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$d = \frac{Td \times Tr}{EUs/100} \quad (12)$$

در این رابطه: Td حداکثر نیاز آبی (میلی‌متر در روز)، Tr نسبت انتقال سامانه در مدت استفاده از سامانه است که برای شرایط اقلیمی، عمق ریشه و بافت خاک از جداول موجود در کتاب‌های آبیاری قطره‌ای استخراج می‌گردد. مقدار این پارامتر برای عمق ریشه ۰/۸ تا ۱/۵ متر و بافت خاک متوسط برابر ۱/۱ در نظر گرفته می‌شود. برای دیگر شرایط می‌توان مقادیر را از جدول‌ها استخراج کرد.

میانگین عمق آب کاربردی در سطح خیس شده (D_{aw})

میانگین عمق آب کاربردی در هر نوبت آبیاری در سطح خیس شده هر درخت (D_{aw}) برای تخمین میزان تخلیه مجاز آب قابل دسترس (MAD) مفید است. این پارامتر با استفاده از میانگین دبی اندازه‌گیری شده در سامانه (Q_{ms})، تعداد قطره‌چکان‌های کاربردی برای هر درخت (n)، مدت زمان آبیاری در هر نوبت آبیاری (Ta) و سطح خیس شده در اطراف هر درخت (A_w) با استفاده از رابطه ۱۳ تعیین می‌شود.

$$Daw = \frac{n \times Qms \times Ta}{Aw} \quad (13)$$

در این رابطه: میانگین عمق آب کاربردی در سطح خیس شده هر درخت (میلی متر)، میانگین دبی خروجی قطره چکان های اندازه گیری شده در سامانه (لیتر در ساعت)، مدت زمان آبیاری (ساعت)، دور آبیاری (روز)، سطح خیس شده در اطراف درخت (متر مربع) و تعداد قطره چکان برای هر درخت.

میانگین عمق کلی آب کاربردی در هر نوبت در سطح اختصاص یافته به هر درخت (Da) با استفاده از رابطه ۱۴ تعیین می شود.

$$Da = \frac{n \times Qms \times Ta}{Sp \times Sr} \quad (14)$$

در این رابطه: میانگین کلی عمق آب کاربردی در سطح اختصاص یافته به هر درخت (میلی متر)، Sp فاصله بین درختان (متر)، و Sr فاصله بین ردیف درختان (متر) است. حجم آب مورد نیاز روزانه هر درخت

حجم آب مورد نیاز برای هر درخت در روز از رابطه ۱۵ تعیین می شود:

$$G = d \times Sp \times Sr \quad (15)$$

در این رابطه، G ، حجم آب روزانه مورد نیاز هر درخت (لیتر در روز) است.

حجم آب کاربردی روزانه برای هر درخت:

میانگین حجم آبی که روزانه به هر درخت می رسد بر اساس رابطه ۱۶ محاسبه می شود.

$$Ga = \frac{n \times Qms \times Ta}{Fi} \quad (16)$$

در این رابطه: G_a میانگین حجم آبی که روزانه به هر درخت می رسد (لیتر در روز)، Qm_s میانگین دبی خروجی قطره چکان های اندازه گیری شده در سامانه (لیتر در ساعت)، Ta مدت زمان آبیاری (ساعت)، F_i دور آبیاری (روز)، و n تعداد قطره چکان برای هر درخت است. حجم آب کاربردی در ربع پایین سامانه ($Galq$) بر اساس رابطه ۱۷ محاسبه می شود.

$$Galq = \frac{n \times Qns \times Ta}{Fi} \quad (17)$$

در این رابطه: Qns میانگین دبی خروجی قطره چکان های اندازه گیری شده در ربع پایین سامانه (لیتر در ساعت) است.

راندمان ربع پایین نشان‌دهنده این است که سامانه آبیاری تا چه اندازه در مزرعه خوب کار می‌کند. زمانی که میانگین حجم آب پخش شده در چارک (ربع) پایین مزرعه (G_{alq}) بیشتر از $1/1$ برابر حجم آب مورد نیاز گیاه (G) یعنی ۱۰ درصد بیشتر از نیاز آبی گیاه باشد، آبیاری بیشتر از نیاز صورت گرفته است. بازدهی واقعی چارک (ربع) پایین از طریق رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود.

$$AELQs = \frac{G}{G_{alq}} \quad (18)$$

میانگین حجم آب پخش شده در چارک پایین مزرعه (G_{alq}) اگر کمتر از $1/1$ برابر حجم آب مورد نیاز گیاه (G) باشد، آبیاری کمتر از نیاز بوده است و از آنجا که در این سامانه هیچ موردی برای تلف شدن آب از طریق تبخیر یا بادبردگی در مناطقی که کمترین آب را به دلیل آبیاری کمتر از نیاز دریافت می‌دارند، وجود ندارد در نتیجه بازدهی کاربرد چارک پایین به یکنواختی پخش سامانه نزدیک و از رابطه ۱۹ محاسبه می‌شود (مریام و کلر، ۱۹۷۹).

$$AELQs = EUs \quad (19)$$

در حالت مطلوب که میانگین حجم آب پخش شده در چارک پایین مزرعه ۱۰ درصد بیشتر از حجم آب مورد نیاز گیاه (G) باشد. آبیاری به اندازه صورت گرفته و مقدار بازدهی واقعی چارک پایین و مقدر پتانسیل بازدهی در چارک پایین برابر است.

میانگین کلی حداقل عمق آب کاربردی (D_n)

میانگین کلی حداقل عمق آب کاربردی پارامتری است لازم برای مدیریت و برنامه ریزی آبیاری. این پارامتر در شرایط آبیاری کامل یا بیش‌آبیاری، با استفاده از رابطه ۲۰ از حاصل ضرب میانگین کلی عمق آب کاربردی در اراضی در راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین به دست می‌آید. در شرایطی که آبیاری به اندازه کافی نشده است و به بیان دیگر کم‌آبیاری صورت گرفته است، راندمان واقعی کاربرد سامانه در چارک پایین بیشتر از راندمان پتانسیل کاربرد در چارک پایین است. از این رو در این شرایط باید از رابطه ۲۱ استفاده شود که در آن به جای راندمان پتانسیل در چارک پایین از راندمان واقعی در چارک پایین استفاده شده است.

$$D_n = D_a \times PELQs / 100 \quad (20)$$

$$D_n = D_a \times AELQs / 100 \quad (21)$$

برای اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و محاسبه شاخص‌های مذکور به حداقل وسایل و تجهیزاتی نیاز است که در زیر شرح داده می‌شود.

وسایل و تجهیزات مورد نیاز ارزیابی

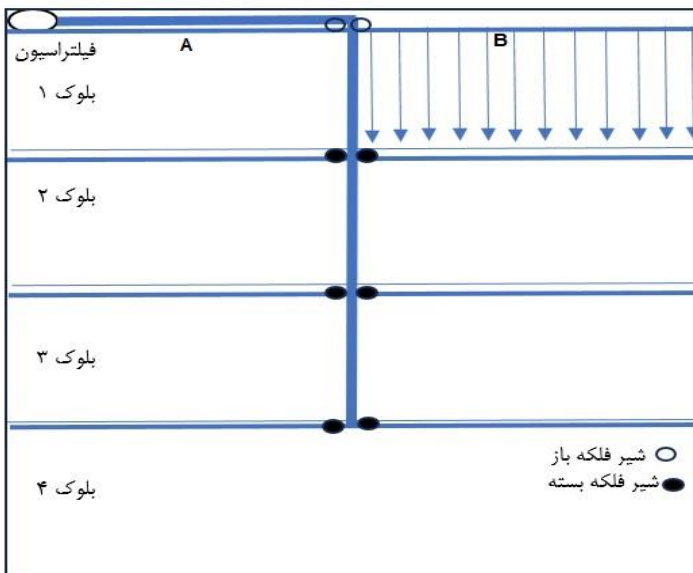
- فشارسنج با یک آداپتور T شکل
 - ظرف جمع‌آوری آب
 - استوانه مدرج برای خواندن حجم آب جمع‌آوری شده
 - یک عدد کرنومتر
 - یک عدد بیل و یک عدد مته نمونه‌برداری خاک
 - بطری نمونه‌برداری دردار با حجم مناسب برای نمونه‌برداری از آب
 - یک عدد قیف
 - چاقو یا تیغ مناسب برای برش لوله‌های جانبی
 - فرم‌های ثبت اطلاعات و مشخصات اجرایی
- پیش از این اشاره شد که یکی از معیارهای مهم در طراحی سامانه آبیاری قطره‌ای توازن بین دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها و نیاز آبی گیاه در هر آبیاری است. به عبارت دیگر، میزان آب آبیاری در هر نوبت آبیاری در نقاط مختلف مزرعه باید یکسان و به اندازه نیاز آبی گیاه در فاصله بین دو آبیاری باشد. برای رسیدن به این توازن، ابتدا باید دبی خروجی از قطره‌چکان‌هایی که در یک واحد آبیاری و در زیربخش یک لوله رابط قرار گرفته‌اند یکنواختی قابل قبولی داشته باشند. از این رو در ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای، با اندازه‌گیری دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها در نقاط مختلف، شاخص‌های یکنواختی و راندمان واقعی و پتانسیل سامانه تعیین و با جدول‌های استاندارد مقایسه و عملکرد سامانه تجزیه و تحلیل می‌شود. مریام و کلر در سال ۱۹۷۸ میلادی دستورالعملی برای ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای ارائه

داده‌اند که دارای اعتبار جهانی است و عموماً سامانه‌های آبیاری قطره‌ای براساس دستورالعمل پیشنهادی اداره حفاظت خاک آمریکا (SCS) و روش مریام و کلر ارزیابی می‌شود که مراحل اجرایی آن در زیر شرح داده می‌شود.

مراحل اجرایی ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای

- ۱- ثبت اطلاعات محل مورد ارزیابی، ارزیابی کننده و تاریخ ارزیابی.
- ۲- ثبت اطلاعات گیاه شامل نوع گیاه، سن گیاه فاصله کاشت، عمق ریشه و درصد سایه‌انداز یا درصد پوشش گیاهی (این اطلاعات به سادگی با حضور در مزرعه از طریق مصاحبه با بهره‌بردار سامانه، اندازه‌گیری مزرعه‌ای و استخراج از دفترچه طراحی قابل دسترس است).
- ۳- تعیین مشخصات خاک شامل بافت خاک، و مقدار آب قابل دسترس خاک (میلی-متر بر متر)، بر اساس نتایج آزمایش خاک موجود در دفترچه طراحی.
- ۴- ثبت مدت زمان آبیاری (ساعت)، دور آبیاری (روز) توسط بهره‌بردار و مقادیر ارائه شده در دفترچه طراحی و استخراج ضریب تخلیه مجاز گیاه یا مدیریتی گیاه در نظر گرفته شده در طراحی.
- ۵- مراجعه به بخش کنترل مرکزی سامانه آبیاری قطره‌ای و اندازه‌گیری فشار ورودی به فیلترها، فشار خروجی از فیلترها و افت فشار در فیلترها و ثبت نتایج اندازه‌گیری‌ها و بررسی وضعیت فیلترها از نظر سالم بودن و پارگی.
- ۶- تعیین و استخراج مشخصات قطره‌چکان‌ها شامل کارخانه سازنده، نوع قطره‌چکان، و فاصله قطره‌چکان‌ها از دفترچه طراحی و کاتالوک کارخانه سازنده قطره‌چکان.
- ۷- استخراج دبی قطره‌چکان (L/hr)، فشار طراحی شده، تعداد قطره‌چکان‌های در نظر گرفته شده برای هر گیاه و حجم آب مصرفی روزانه گیاه (لیتر در روز) از دفترچه طراحی سامانه آبیاری.

- ۸- استخراج مشخصات لوله آبد، شامل جنس، قطر و طول و فاصله لوله‌های آبد از دفترچه طراحی و کنترل آن در مزرعه.
- ۹- ترسیم نمای کلی سامانه شامل محل قرار گیری منبع آب، لوله‌های اصلی، لوله‌های رابط و لوله‌های آبد، بلوک در حال آبیاری و انتخاب تصادفی یکی از لوله‌های رابط در حال آبیاری به عنوان لوله رابط آزمایشی (شکل ۷).



شکل ۷- نمای کلی سامانه، بلوک در لوله رابط در حال آبیاری

- ۱۰- تعیین تعداد کل بلوک‌ها و تعداد کل لوله‌های رابط (مانیفولد) و دبی سامانه، در صورتی که سامانه آبیاری به کنتور حجمی تجهیز شده است.
- ۱۱- اندازه‌گیری میانگین دبی خروجی از قطره چکان‌ها در زیر بخش لوله رابط در حال آزمایش انتخابی در بند ۹. برای این منظور لازم است مطابق شکل ۶ چهار لوله آبد در بخش ابتدا، در یک سوم و در دو سوم از ابتدای لوله رابط و بخش انتهایی لوله رابط انتخاب شود. پس از آن روی هر یک از لوله‌های آبد انتخاب شده در

مرحله پیشین، چهار محل در ابتدا لوله آبد، در یک سوم و در دوسوم از ابتدای لوله آبد و بخش انتهایی لوله آبد تعیین شود. سپس در هر یک از ۱۶ مکان انتخاب شده، دبی دو قطره‌چکان به مدت حداقل ۱ دقیقه اندازه‌گیری شود (زمان به نحوی انتخاب شود که در ظروف بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی لیتر، آب جمع شود). میانگین حجم آب دو اندازه‌گیری برای هر مکان ثبت شود.

۱۲- دبی‌های اندازه‌گیری شده را در جدولی مطابق با جدول ۳ ثبت کنید.

جدول ۳- دبی خروجی اندازه‌گیری شده از قطره‌چکان‌ها در زیربخش لوله رابط

آزمایشی

محل اندازه‌گیری روی لوله آبد	محل قرارگیری لوله آبد روی لوله رابط								
	ابتدایی لوله رابط			فاصله یک سوم از			فاصله دو سوم از ابتدا		
	میانگین	ردیف دو	ردیف یک	میانگین	ردیف دو	ردیف یک	میانگین	ردیف دو	ردیف یک
بخش ابتدایی لوله آبد									
یک سوم از ابتدای لوله آبد									
دو سوم از ابتدای لوله آبد									
بخش انتهایی لوله آبد									

۱۳- دبی اندازه‌گیری شده در ۱۶ مکان را به‌صورت نزولی مرتب و میانگین کل دبی‌های اندازه‌گیری شده و میانگین یک چهارم حداقل دبی‌های اندازه‌گیری شده را محاسبه و ثبت کنید.

۱۴- فشار آب را در ابتدا و انتهای هر یک از چهار لولهٔ آبدۀ انتخابی در بند ۱۱ (لوله‌های آبدۀ انتخابی برای اندازه‌گیری دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها) اندازه‌گیری و در جدولی مطابق با جدول ۴ ثبت کنید.

جدول ۴- فشار اندازه‌گیری شده در ابتدا و انتهای لوله‌های آبدۀ انتخابی در زیربخش لولهٔ رابط آزمایشی

محل اندازه‌گیری روی لوله آبدۀ	محل قرارگیری لوله آبدۀ روی لوله رابط									فشار در ابتدای لوله آبدۀ	فشار در انتهای لوله آبدۀ
	ابتدایی لوله رابط			فاصله یک سوم از			فاصله دو سوم از ابتدا				
	ردیف یک	ردیف دو	میانگین	ردیف یک	ردیف دو	میانگین	ردیف یک	ردیف دو	میانگین		

۱۵- حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبدۀ در طول هریک از لوله‌های رابط در حال آبیاری را اندازه‌گیری و ثبت کنید. میانگین و حداقل مقدار فشار ورودی به لوله‌های آبدۀ و حداقل فشار ورودی به لولهٔ آبدۀ در لولهٔ رابط آزمایشی را تعیین کنید. با توجه به تجربه‌های به‌دست آمده، برای لوله‌های رابط قرار گرفته در سطوح مسطح و سربالایی، حداقل فشار ورودی به لولهٔ آبدۀ در بخش انتهایی لولهٔ رابط اتفاق می‌افتد.

ولی برای لوله‌های رابط قرار گرفته در سرآشویی، حداقل فشار ورودی به لوله آبدۀ در فاصلهٔ حدود دوسوم از ابتدای لوله رابط واقع می‌شود.

جدول ۵- حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبدۀ در لوله‌های رابط سامانه در حال آبیاری

نام لوله‌های رابط										پارامتر اندازه‌گیری شده
میانگین	حداقل	آزمایشی					D	C	B	A
										حداقل فشار ورودی به لوله آبدۀ

۱۶- اگر حداقل فشار ورودی به لوله آبدۀ در لوله رابط در حال آزمایش با میانگین حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبدۀ در واحد آبیاری (کل لوله‌های رابط در حال آبیاری) متفاوت باشد، لازم است میانگین دبی خروجی از قطره‌چکان‌ها و میانگین یک چهارم حداقل دبی‌ها در لوله رابط تحت آزمایش تعیین‌شده در بند ۱۳ به کمک روابط ۴ و ۵ اصلاح شود.

۱۷- در هر یک از چهار لوله آبدۀ انتخاب شده در شکل ۶ و بند ۱۱، سطح خیس شده را در یک مکان از لوله آبدۀ تعیین کنید. برای این منظور بهتر است در هر یک از لوله‌ها محل متفاوتی انتخاب شود (برای مثال، در لوله اول محل اول، در لوله دوم در فاصلهٔ یک سوم از ابتدای لوله آبدۀ و در لوله سوم در فاصلهٔ دوسوم از ابتدای لوله آبدۀ و در لوله آخر بخش انتهایی لوله در نظر گرفته شود)، همچنین بهتر است سطح خیس شده در عمق ۱۵ تا ۳۰ سانتی متر تعیین گردد. با تقسیم کردن سطح خیس شده به سطح اختصاص یافته به هر درخت (حاصل ضرب فاصلهٔ درختان در فاصلهٔ ردیف‌ها)، درصد سطح خیس شده را به دست آورید. این مقادیر را در جدولی مطابق با جدول ۶ ثبت کنید.

جدول ۶- سطح خیس شده در اطراف یک درخت در زیربخش لولهٔ رابط آزمایشی

محل اندازه‌گیری روی لولهٔ آبد	محل قرارگیری لولهٔ آبد روی لولهٔ رابط								
	ابتدایی لولهٔ رابط			فاصلهٔ یک سوم از			فاصلهٔ دو سوم از ابتدا		
	میانگین	ردیف دو	ردیف یک	میانگین	ردیف دو	ردیف یک	میانگین	ردیف دو	ردیف یک
سطح خیس شده (متر مربع)									
سطح خیس شده (درصد)									

- ۱۸- اگر فاصله‌های آبیاری چند روز است، می‌توان کمبود رطوبت خاک را در سطح خیس شده در نزدیک زمان آبیاری با نمونه‌برداری در بخش‌های مختلف سطح خیس شده در اطراف گیاه و میانگین‌گیری نمونه‌ها تعیین و ثبت کرد.
- ۱۹- اگر میانگین حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبد در کل لوله‌های رابط در حال آبیاری با حداقل فشار ورودی به لولهٔ آبد در لولهٔ رابط مورد آزمایش (اندازه‌گیری شده در بند ۱۵) متفاوت باشد، لازم است ضریب اصلاح دبی براساس رابطهٔ ۲ محاسبه گردد.

ارزیابی سامانهٔ آبیاری و ارائهٔ راهکارهای بهبود عملکرد آن

پس از اینکه داده‌های ۱۹ بند گفته شده در بالا اندازه‌گیری، محاسبه و به کمک بهره‌بردار سامانهٔ آبیاری تکمیل گردید، باید پارامترها و شاخص‌های ارزیابی سامانه محاسبه شود و با استانداردهای بین‌المللی (توصیه‌های انجمن مهندسان کشاورزی ایالات متحده آمریکا، ASAE) مقایسه و ارزیابی گردد، میزان تاثیر عوامل مختلف تعیین و پیشنهادهای لازم

برای بهبود عملکرد سامانه ارائه شود. این بخش در قالب مثال کاربردی زیر توضیح داده شده است:

مثال کاربردی

۱- محل ارزیابی: شهرستان شهریار، روستای زرینه، ارزیابی کننده: مهدی اکبری،

تاریخ ارزیابی: ۱۳۹۶/۵/۱۸

۲- نوع گیاه: پسته، سن گیاه: ۱۲ سال فاصله‌های کاشت: $۱/۵ \times ۵$ متر عمق ریشه: $۱/۲$

متر میزان سایه انداز: ۵۰ درصد

۳- مشخصات خاک، بافت خاک: لومی شنی مقدار آب قابل دسترس خاک: ۱۶۵

(میلی‌متر در متر) و تبخیر تعرق گیاه پسته در منطقه، $۵/۵$ میلی‌متر در روز

۴- مدت زمان آبیاری: ۶ (ساعت)، دور آبیاری: ۶ (روز) ضریب تخلیه مجاز گیاه: ۵۰

درصد (براساس دفترچه طراحی)

۵- فشار ورودی به فیلترها: $۱۸/۵$ متر، فشار خروجی از فیلترها: ۱۵ متر و افت فشار در

فیلترها: $۳/۵$ متر. بررسی‌ها نشان داد فیلترها سالم هستند و هیچگونه پارگی

ندارند و میزان افت فشار در فیلترها در حد مجاز است.

۶- کارخانه سازنده قطره‌چکان‌ها: نتافیم، نوع قطره‌چکان: تنظیم کننده فشار، فاصله

قطره‌چکان‌ها: $۰/۷۵$ متر

۷- بر اساس مدل قطره‌چکان، دبی قطره‌چکان: ۸ (لیتر در ساعت)، فشار طراحی شده:

۱۲ متر، تعداد قطره‌چکان در نظر گرفته شده برای هر گیاه: ۴، و حجم آب مصرفی

روزانه گیاه ۳۲ (لیتر در روز)

۸- بر اساس مشاهدات مزرعه‌ای، جنس لوله آبدۀ پلی اتیلن، طول لوله آبدۀ ۵۰ متر،

آرایش سامانه آبیاری دو ردیفه و فاصله لوله‌های آبدۀ از ردیف درخت ۵۰ تا ۶۰

سانتی‌متر

۹- بر اساس مشاهدات مزرعه‌ای، نمای کلی سامانه در شکل ۷ نشان داده شده است.

- ۱۰- تعداد بلوک‌ها ۴ و تعداد کل لوله‌های رابط (مانیفولد) ۸ است، سامانه مجهز به کنتور حجمی نیست.
- ۱۱- میانگین دبی خروجی از قطره چکان‌ها در زیر بخش لوله رابط در حال آزمایش در ۱۶ مکان مطابق با شکل ۶ و ردیف ۱۱ مراحل اجرایی تعیین ارزیابی سامانه آبیاری قطره‌ای در این نشریه فنی اندازه‌گیری شد.
- ۱۲- دبی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- دبی خروجی اندازه‌گیری شده از قطره‌چکان‌ها، فشار ورودی به لوله‌های آبده و سطح خیس شده در اطراف درختان در زیربخش لوله رابط آزمایشی

محل اندازه‌گیری روی لوله آبده	محل قرارگیری لوله آبده روی لوله رابط											
	ابتدایی لوله رابط			فاصله یک سوم از ابتدا			فاصله دو سوم از ابتدا			انتهای لوله رابط		
	دبی یک	دبی دو	میانگین	دبی یک	دبی دو	میانگین	دبی یک	دبی دو	میانگین	دبی یک	دبی دو	میانگین
بخش ابتدایی لوله آبده 1/hr	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۴
یک سوم از ابتدای لوله آبده 1/hr	۷/۲	۷/۸	۷/۵	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۶/۸	۶/۸	۷/۲
دو سوم از ابتدای لوله آبده 1/hr	۸/۳	۸/۲	۸/۲	۷/۱	۶/۸	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۳	۷/۳	۷/۳
بخش انتهایی لوله آبده 1/hr	۶/۸	۵/۴	۶/۱	۷/۳	۸/۴	۶/۲	۶/۲	۶/۲	۶/۲	۶/۳	۶/۵	۶/۴
فشار در ابتدای لوله آبده (متر)	۱۴	۱۳/۹	۱۴	۱۳/۵	۱۳/۵	۱۳/۵	۱۲	۱۲/۱	۱۲/۱	۱۳	۱۳	۱۳
فشار در انتهای لوله آبده (متر)	۱۳	۱۳	۱۳	۱۲/۶	۱۲/۶	۱۲/۶	۱۱/۵	۱۱/۷	۱۱/۶	۱۲/۲	۱۲/۳	۱۲/۳
سطح خیس شده (متر مربع)			۱/۸۵			۱/۹۷			۱/۸۴			۱/۸۹

۱۳- دبی اندازه‌گیری شده در ۱۶ مکان اندازه‌گیری به‌صورت نزولی مرتب گردید و میانگین کل و میانگین دبی چارک پایین قطره‌چکان‌ها به ترتیب ۶/۰۰ و ۶/۹۷ لیتر بر ساعت محاسبه شد. با توجه به میانگین‌های محاسبه شده و استفاده از رابطه ۳، یکنواختی ریزش دبی قطره‌چکان‌ها در ناحیه لوله رابط مورد آزمایش ۸۶ درصد تعیین شد که بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، راندمان یکنواختی پخش آب در دسته خوب طبقه بندی می‌شود.

۱۴- فشار آب در ابتدا و انتهای هر یک از چهار لوله آبدۀ اندازه‌گیری و در جدول ۷ نشان داده شده است. ارقام اندازه‌گیری نشان داد حداقل فشار ۱۲ متر و حداکثر فشار ۱۴ متر است و این اختلاف فشار ۲ متر کمتر از مقدار مجاز (یعنی ۲۰ درصد ۱۲ متر، برابر ۲/۴ متر) است.

۱۵- حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبدۀ در طول لوله رابط A و B (تحت آزمایش) به ترتیب برابر ۱۳ و ۱۲ متر اندازه‌گیری شده است. میانگین حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبدۀ بلوک در حال آبیاری ۱۲/۵ متر و حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبدۀ بلوک در حال آبیاری ۱۲ متر محاسبه شد.

۱۶- سطح خیس شده در هر یک از چهار لوله آبدۀ انتخابی در یکی از محل‌های چهارگانه اندازه‌گیری دبی قطره‌چکان‌ها اندازه‌گیری شد و نتایج آن در جدول ۷ نشان داده شده است. میانگین سطح خیس شده ۱/۸۹ متر مربع به‌دست آمد که با توجه به فاصله کاشت درختان (۵×۱/۵ متر)، میانگین سطح خیس شده ۲۵ درصد تعیین شد که کمتر از مقدار حداقل ۳۳ درصد پیشنهاد شده برای مناطق خشک و نیمه خشک است.

۱۷- با توجه به فاصله‌های زیاد آبیاری (۶ روز) و تشخیص نادقیق سطح مرطوب شده در آبیاری پیشین، امکان اندازه‌گیری کمبود رطوبت خاک با استفاده از رطوبت سنج در سطح خیس شده فراهم نبود و این پارامتر اندازه‌گیری نشد.

۱۸- با توجه به متفاوت بودن حداقل فشار ورودی به لوله آبد در لوله رابط در حال آزمایش (۱۲ متر) با میانگین حداقل فشار ورودی به لوله‌های آبد در واحد آبیاری (۱۲/۵ متر) ضریب تصحیح دبی برابر $1/0.25$ محاسبه شد. میانگین دبی خروجی و میانگین یک چهارم حداقل دبی‌ها در لوله رابط تحت آزمایش که در بند ۱۳ محاسبه شده بود، اصلاح گردید. میانگین کل و میانگین دبی چارک پایین قطره‌چکان‌های اصلاح شده به ترتیب $7/14$ و $6/15$ لیتر بر ساعت تعیین شد.

۱۹- با توجه به متفاوت بودن میانگین حداقل فشار ورودی به لوله آبد در کل لوله‌های رابط در حال آبیاری (۱۲/۵ متر) با حداقل فشار ورودی به لوله آبد در لوله رابط (۱۲ متر)، ضریب اصلاح دبی براساس رابطه ۲ برابر $0/976$ محاسبه شد.

۲۰- با توجه به تعریف فاکتور کاهش بازدهی، یکنواختی پخش آب سامانه (EUs) از طریق رابطه ۶ برابر ۸۴ درصد محاسبه شد. با توجه به اینکه چند فصل آبیاری از بهره‌برداری سامانه گذشته است، بر اساس جدول ۱ عملکرد سامانه در دسته خوب طبقه بندی شد.

۲۱- با توجه به اینکه در روش آبیاری قطره‌ای فقط بخشی از مساحت خاک خیس می‌شود و حداقل عمق آب آبیاری در حاشیه ناحیه خیس شده برابر صفر است، کمبود رطوبت خاک (SMD) باید پیوسته جبران شود. از این رو تخمین کمبود رطوبت خاکی که توسط داده‌های هواشناسی یا وسایل تبخیرسنجی برآورد می‌گردد، همواره دارای مقداری خطاست. برای در نظر گرفتن ضریب اطمینان از مواجه نشدن گیاه با تنش آبی، نقاطی از سطح زمین که کمترین آب را دریافت می‌کنند، به میزان ۱۰ درصد آب بیشتر از مقدار تبخیر و تعرق تخمینی آبیاری می‌شوند. بر این اساس، راندمان پتانسیل کاربرد چارک پایین از معادله ۱۰ برابر ۷۶ درصد محاسبه گردید. بر اساس معیار کلی ارائه شده توسط اداره حفاظت خاک آمریکا (SCS)، برای توصیف عملکرد راندمان پتانسیل کاربرد ربع پایین سامانه (جدول ۲)، سامانه مورد ارزیابی از نظر این شاخص در دسته نسبتاً خوب قرار گرفت.

۲۲- با توجه به ۵۰ درصد سایه‌انداز گیاه و تبخیر تعرق گیاهی ۵/۵ میلی‌متر در روز با استفاده از رابطه ۱۱ تعرق روزانه گیاه برابر ۳/۱۶ میلی‌متر در روز محاسبه شد. حداکثر نیاز آبی گیاه با توجه به یکنواختی پخش آب ۸۴ درصد سامانه و نسبت انتقال سامانه ۱/۱ در نظر گرفته شده با توجه به عمق ریشه و بافت خاک از رابطه ۱۲ برابر ۴/۱۴ میلی‌متر در روز تعیین شد.

۲۳- میانگین عمق آب کاربردی در هرنوبت آبیاری در سطح خیس‌شده هر درخت با توجه به تعداد چهار قطره‌چکان برای هر درخت و ۶ ساعت آبیاری در هر نوبت و میانگین آب خروجی از قطره‌چکان‌های ۷/۱۴ لیتر در ساعت، و سطح خیس‌شده ۱/۸۹ متر مربع از رابطه ۱۳ برابر ۹۰/۷ میلی‌متر در هر نوبت آبیاری محاسبه شد. این مقدار برابر ۴۶ درصد مقدار آب قابل نگهداری در خاک است که نزدیک به ضریب تخلیه مجاز در نظر گرفته شده در طراحی سامانه (۵۰ درصد) است و در صورتی که نیاز آبی گیاه را تامین کند مقدار قابل قبولی است.

۲۴- میانگین کلی عمق آب کاربردی در هرنوبت آبیاری در سطح اختصاصی به هر درخت با توجه به تعداد چهار قطره‌چکان برای هر درخت و ۶ ساعت آبیاری در هر نوبت، میانگین آب خروجی از قطره‌چکان‌ها ۷/۱۴ لیتر در ساعت و مساحت اختصاص یافته به هر درخت (۷/۵ متر مربع) از رابطه ۱۴ برابر ۲۲/۸۶ میلی‌متر در هر نوبت آبیاری محاسبه شد.

۲۵- حجم آب مورد نیاز روزانه گیاه با توجه به حداکثر مقدار نیاز آبی محاسبه شده در بند ۲۲ (۴/۱۴ میلی‌متر در روز) و فاصله کاشت درختان از رابطه ۱۵ برابر ۳۱/۰۴ لیتر در روز محاسبه شد.

۲۶- حجم آب کاربردی روزانه گیاه با توجه به تعداد چهار قطره‌چکان برای هر درخت و ۶ ساعت آبیاری در هر نوبت و میانگین آب خروجی از قطره‌چکان‌های ۷/۱۴ لیتر در ساعت، و دور آبیاری ۶ روز از رابطه ۱۶ برابر ۲۸/۵۷ لیتر در روز محاسبه شد که کمتر از حجم آب روزانه گیاه (۳۱ لیتر در روز) است.

۲۷- حجم آب کاربردی روزانه در چارک پایین سامانه با استفاده از میانگین آب خروجی از قطره‌چکان‌ها در چارک پایین سامانه برابر $6/15$ لیتر در ساعت، از رابطه ۱۷ برابر $24/60$ لیتر در روز تعیین شد که نشان‌دهنده کم‌آبیاری در باغ مورد ارزیابی است یعنی درختان به اندازه کافی آبیاری نشده‌اند. یکی از دلایل اصلی کم‌آبیاری، گرفتگی جزئی قطره‌چکان‌ها و کاهش دبی اسمی ۸ لیتر در ساعت به $7/14$ لیتر در ساعت است. برای تامین نیاز آبی گیاه دو راهکار کاهش دور آبیاری به ۵ روز یا افزایش مدت زمان آبیاری به $8/2$ ساعت قابل اجراست ولی با توجه به شرایط موجود در مزرعه (پایین بودن درصد مساحت خیس شده) راهکار پیشنهادی افزایش مدت زمان آبیاری است که می‌تواند علاوه بر افزایش حجم آب کاربردی روزانه، سطح خیس شده را نیز افزایش دهد. اگر مدت زمان آبیاری به $8/3$ ساعت افزایش یابد، نیاز آبی گیاه در چارک پایین تامین خواهد شد و سطح خیس شده نیز افزایش می‌یابد.

۲۸- با توجه به اینکه در این باغ حجم آب مورد نیاز روزانه گیاه در چارک پایین تامین نشده است، در نتیجه بازدهی کاربرد آب در چارک پایین به یکنواختی پخش سامانه نزدیک و از رابطه ۱۹ برابر ۸۴ درصد محاسبه شد.

۲۹- میانگین کلی حداقل عمق آب کاربردی در سامانه، پارامتری است ضروری برای مدیریت و برنامه ریزی آبیاری و از این رو با توجه به اینکه در باغ مورد ارزیابی نیاز آبی گیاه تامین نشده است، میانگین کلی حداقل عمق آب کاربردی در سامانه از رابطه ۲۱ و با استفاده از میانگین کلی عمق آب کاربردی در هر نوبت آبیاری در سطح اختصاصی به هر درخت ($28/86$ میلی‌متر) و راندمان واقعی در چارک پایین (۸۴ درصد)، برابر $19/21$ میلی‌متر محاسبه شد.

پیشنهادهای کاربردی

- بخش کنترل مرکزی سامانه از نظر سالم بودن فیلترها کنترل و در صورت وجود پارگی در فیلترها، آنها تعمیر یا تعویض شوند.
- افت فشار در فیلترها بررسی شود و اگر میزان آن بیش از حد مجاز باشد، تمهیدات لازم اندیشیده شود.
- با توجه به حداقل و حداکثر فشار سامانه، افت فشار مجاز در سامانه کنترل شود و در صورت نیاز، اصلاحات پیشنهادی ارائه گردد.
- با توجه به نتایج ارزیابی، ضریب یکنواختی پخش آب سامانه آبیاری تعیین و به کمک جدول‌های استاندارد وضعیت یکنواختی توزیع آب در سامانه طبقه بندی می‌شود و اگر سامانه در طبقه ضعیف قرار گرفت پیشنهادهای اصلاحی ارائه شود.
- میانگین سطح خیس شده توسط قطره‌چکان‌ها تعیین شود و اگر مقدار آن کمتر از مقدار حداقل (۳۳ درصد برای مناطق خشک و نیمه خشک) بود راهکارهای افزایش سطح خیس شده در شرایط مزرعه ارائه شود.
- حجم آب کاربردی روزانه در چارک پایین سامانه محاسبه و با نیاز آبی روزانه درختان مقایسه شود و در صورت نیاز، راهکارهای افزایش حجم آب کاربردی با توجه به شرایط مزرعه ارائه شود.

فهرست منابع

- اکبری، م. ۱۳۷۷. سرویس و نگهداری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، نشریه فنی و آموزشی شماره ۱۵۷-۴۷.
- اکبری، م و کوچک‌زاده، م. ۱۳۷۹. نگرشی بر سامانه‌های آبیاری تحت فشار در استان اصفهان. دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۱۶. صفحه ۲۱۷-۲۱۳۲.

اکبری، م، صدقائن، ح، دهقانی‌سانیچ، ح و زراعی، ق. ۱۳۸۹. بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری میکرو، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشریه فنی شماره ۲۵.

اکبری، م. ۱۳۹۱. ارزیابی سامانه‌های آبیاری تحت فشار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به شماره ۹۱/۴۱۶۸۱ مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی

اکبری، م. ۱۳۹۳. مدیریت بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های آبیاری میکرو، نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۱ شماره ۱: ۳۱-۴۲.

غفاری، م،، سلطانی، ج،، اکبری، م و رحیمی خوب، ع. ۱۳۹۴. ارزیابی فنی بهره‌برداری فیلترهای دیسکی تجهیزات فیلتراسیون در سیستم‌های آبیاری، مدیریت آب و آبیاری، جلد ۵ شماره ۱: ۹-۱.

- ASAE. 1996. Field evaluation of micro-irrigation systems, 43rd edition. EP458, ASAE, St. Joseph, Mich, 756-761 pp.
- ASAE. 2003. Design and Installation of Micro irrigation Systems, EP405.1, ASAE St. American Society of Agricultural Engineers, food, and biological systems.
- Merriam J.L. and Keler, J. 1979. Farm irrigation system evaluation: A guide for management, department of Agriculture Engineering, Utah State University, Second Printing.
- Alsalamy J. j., Almershidly K.R. and Hassan, D.F. 2025. Hydraulic Performance Analysis for Drip Irrigation Systems Efficiency and Water Productivity. International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering, Vol. 11-No.1. 1567-1577.
- Elamin, A.W.M., Abd Eldaiam, A.M., Abdalla, N.A. and Hussain, M.E. 2017. Hydraulic performance of drip irrigation system under different emitter types, and operating pressures using treated wastewater at Khartoum state International Journal of Development and Sustainability, Vol. 6 No. 9, pp. 1086-1095.
- Mohamed, A.A. 2013. Evaluation of the hydraulic performance of drip irrigation system with multi cases Global Journal of Research in Engineering, Vol. 13 No. 2, pp. 12-18.

Baydar, A.; Bozkurt Colak, Y.; Kucukyumuk, C. and Dalkılıç, B. 2025. Evaluation of Hydraulic and Irrigation Performances of Drip Systems in Nectarine Orchards in The Mediterranean Region. Water, 17, 758. <https://doi.org/10.3390/w17050758>.