

نشریه فنی:

ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی ثابت با جابه‌جایی آبپاش‌ها

مهدی اکبری



سال انتشار: ۱۴۰۵

بسم الله الرحمن الرحيم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی:

ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی ثابت
با جابه‌جایی آبپاش‌ها

تهیه و تدوین:

مهدی اکبری

عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار:

۱۴۰۵



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



نوع نوشتار: نشریه فنی
عنوان نوشتار: ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی ثابت با جابه‌جایی آبپاش‌ها
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: ۱۴۰۵



مسئولیت صحت مطالب با نگارنده است.

شماره ثبت ۷۰۰۲۷ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۵/۰۶/۲۹

مخاطبان نشریه:

کارشناسان آب و خاک

کارشناسان و مروجان مسئول پهنه

شرکتهای خدمات مهندسی کشاورزان

کشاورزان پیشرو و بهره برداران سامانه‌های آبیاری بارانی ثابت با جابه‌جایی آبپاش‌ها

هدف‌های آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- معرفی اجزای اصلی سامانه‌های آبیاری بارانی
- تقسیم بندی انواع سامانه‌های آبیاری بارانی
- ابزارهای مورد نیاز ارزیابی یک سامانه آبیاری بارانی
- مفاهیم، مراحل اجرایی و روش صحیح ارزیابی سامانه آبیاری بارانی

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۱	کلیات
۲	مزایا و محدودیت‌های آبیاری بارانی
۴	اجزای اصلی سامانه آبیاری بارانی
۶	روش‌های آبیاری بارانی
۶	یکنواختی توزیع آب در روش آبیاری بارانی
۷	اطلاعات مورد نیاز ارزیابی سامانه آبیاری بارانی
۸	مشخصات هیدرولیکی سامانه آبیاری بارانی
۹	روش شبکه بندی در سامانه کلاسیک ثابت با جابه‌جایی آبپاش
۱۰	شاخص‌های ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری بارانی
۱۹	وسایل و تجهیزات مورد نیاز ارزیابی سامانه آبیاری بارانی
۱۹	ارزیابی سامانه آبیاری و ارائه راهکارهای بهبود عملکرد آن
۱۹	مثال کاربردی
۲۳	پیشنهادهای کاربردی
۲۵	فهرست منابع

مقدمه

قرن هاست کشاورزان ایران از روش‌های آبیاری سطحی استفاده و محصولات کشاورزی را تولید کرده‌اند. در چند دهه اخیر، با کاهش منابع آبی استفاده مناسب و افزایش بهره‌وری آب ضرورت یافته است. آبیاری بارانی یکی از روش‌هایی است که آب از طریق لوله در داخل مزرعه منتقل و توزیع می‌گردد و از تلفات انتقال جلوگیری می‌شود. در این روش، آب آبیاری با سرعتی مساوی یا کمتر از سرعت نفوذ آب در خاک از طریق آبپاش‌ها به صورت باران نسبتاً یکنواخت بر سطح مزرعه پخش می‌شود. سامانه‌های آبیاری بارانی به دو دسته کلی ثابت و متحرک در حین آبیاری تقسیم‌بندی می‌شوند. هر یک از این سامانه‌ها مزایا و محدودیت‌های خود را دارد که باید در زمان طراحی مد نظر قرار گیرند. اگر در طراحی و اجرای سامانه آبیاری دقت لازم به کار برده شود و از تجهیزات و وسایل با کیفیت با هدف توزیع یکنواخت آب استفاده شود، اما مدیریت بهره‌برداری و نگهداری به درستی پیش نرود، هدف اصلی که آبیاری یکنواخت است تامین نخواهد شد و این سامانه‌ها در مدت زمان کوتاهی پس از بهره‌برداری با مشکل جدی روبه‌رو خواهند شد. 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 و در صورت نیاز راهکارهایی برای بهبود وضعیت موجود ارائه گردد. با توجه به اینکه سامانه آبیاری بارانی ثابت با جابه‌جایی آبپاش‌ها در سطح بیشتری از اراضی کشور توسعه یافته‌است، هدف اختصاصی این نشریه فنی معرفی شاخص‌های ارزیابی، نکات کلیدی در روش آزمون مزرعه‌ای، و نحوه محاسبه شاخص‌ها و ارائه مثال کاربردی برای ارزیابی سامانه مذکور در مزرعه است.

کلیاتی از روش‌های آبیاری بارانی

آبیاری بارانی یکی از روش‌های آبیاری تحت فشار است که در آن آب از طریق پمپ به لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و جانبی در مزرعه جریان می‌یابد و با آبپاش‌ها به صورت باران بر سطح زمین پخش می‌شود. فشار مورد نیاز این روش آبیاری اغلب از پمپ تأمین می‌گردد و در صورت مرتفع بودن منبع آب نسبت به اراضی می‌توان از نیروی ثقل هم بهره

جست و در مصرف انرژی صرفه جویی کرد. آبیاری بارانی می‌تواند برای آبیاری بیشتر گیاهان به‌خصوص محصولات زراعی در شرایط مختلف آب و هوایی به‌کار رود. همچنین می‌توان خاک‌های مختلف از جمله خاک‌های نسبتاً شنی تا رسی را با این روش آبیاری کرد.

مزایا و محدودیت‌های روش آبیاری بارانی

این روش آبیاری مانند دیگر روش‌های آبیاری، دارای نقاط ضعف و قوت مرتبط با مسائل فنی، اقتصادی یا عوامل مربوط به آب، خاک و گیاه است. در اینجا به برخی از مزیت‌ها و معایب سامانه آبیاری بارانی پرداخته می‌شود (اکبری و همکاران، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱؛ اکبری و کوچک‌زاده ۱۳۹۱):

الف- برخی از مزیت‌های آبیاری بارانی

- صرفه‌جویی در آب آبیاری.
- امکان آبیاری اراضی دارای شیب زیاد بدون احتیاج به تسطیح اراضی.
- امکان آبیاری با منبع آبی با دبی کم، که در آبیاری سطحی نمی‌تواند استفاده شود.
- امکان آبیاری مزارع دارای بافت مختلف خاک (خاک‌های سبک تا سنگین).
- امکان آبیاری در خاک‌های کم عمق که اغلب قابل تسطیح نیستند.
- پایین بودن مقدار نیروی کارگری لازم، در مقایسه با آبیاری سطحی، در موارد لازم می‌توان سامانه آبیاری را مکانیزه کرد.
- پایین بودن مقدار زمینی که برای انتقال آب از دست می‌رود (در مقایسه با آبیاری سطحی).
- نشان دادن عکس العمل بسیار مناسب برخی گیاهان نسبت به آبیاری بارانی و افزایش عملکرد محصول.
- تامین هدف‌های جانبی سامانه آبیاری بارانی علاوه بر تامین آب مورد نیاز گیاه. برای مثال، در هوای گرم آبیاری بارانی محیط گیاه را خنک نگه می‌دارد و در هوای سرد از یخبندان و سرمازدگی گیاه جلوگیری می‌کند.

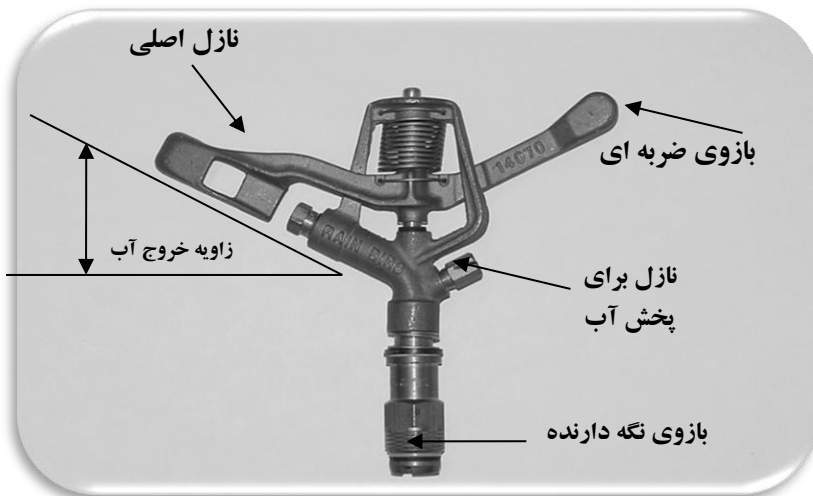
ب- برخی از محدودیت‌های آبیاری بارانی

- هزینه سرمایه گذاری اولیه سامانه‌های بارانی نسبت به روش‌های آبیاری سنتی بالاتر است.
- در مواردی که کشاورزان دارای حق‌آبه مشخصی هستند و نوبتی از آب استفاده می‌کنند، استفاده از این سامانه بدون داشتن مخزن ذخیره آب دشوار است.
- در آبیاری بارانی، کیفیت پایین آب (مخصوصاً میزان سدیم، کلر و بُر) محدودیت زیادتری را نسبت به آبیاری سنتی ایجاد می‌کند به عبارت دیگر بسیاری از آب‌های که در روش آبیاری ثقلی قابل استفاده‌اند، در آبیاری بارانی نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.
- در مناطق بادخیز تلفات آب بالا و یکنواختی توزیع آب آبیاری پایین است. به طور کلی باید باد را بزرگترین عامل بازدارنده آبیاری بارانی به‌شمار آورد.
- در هوای گرم و خشک، تبخیر در حین آبیاری باعث بالا رفتن تلفات آب می‌گردد. یادآوری این نکته ضروری است که این تبخیر تا حدودی باعث خنک شدن محیط برگ می‌شود و از آسیب دیدگی‌های ناشی از گرمای زیاد جلوگیری می‌کند.
- در نقاط دور افتاده ایران که دسترسی کمتری به متخصص و لوازم یدکی هست، اگر موتور پمپ یا الکتروپمپ و دیگر بخش‌های سامانه آبیاری نیاز به تعمیرات داشته باشد، ممکن است این تعمیرات باعث تاخیر در آبیاری و وارد شدن خسارت به محصول شود.

اجزای اصلی سامانه آبیاری بارانی

سامانه آبیاری بارانی پنج بخش اصلی به شرح زیر دارد:

- ۱- آبپاش، وسیله‌ای است که در آن خروجی‌هایی (نازل) با قطر بسیار کوچک تعبیه شده است که وظیفه پخش آب در مزرعه را بر عهده دارند (شکل ۱). آبپاش‌ها به فاصله‌هایی مشخص روی لوله جانبی مستقر شده‌اند به‌طوری که آب با فشار از آن خارج می‌شود تا مزرعه را آبیاری کند. آبپاش‌ها عموماً دو نازل دارند ولی می‌توانند یک یا سه نازل نیز داشته باشند تا یک دایره کامل یا قسمتی از دایره را آبیاری کنند.
- ۲- لوله‌های جانبی، که آب را از لوله اصلی یا نیمه اصلی دریافت می‌کنند و به لوله‌های نگهدارنده آبپاش‌ها (رایزرها) می‌رسانند (شکل ۲). در حقیقت لوله‌های جانبی آب مورد نیاز آبپاش‌ها را تامین می‌کنند. این لوله‌ها هم روی زمین و هم زیر زمین در مزرعه قابل نصب هستند.

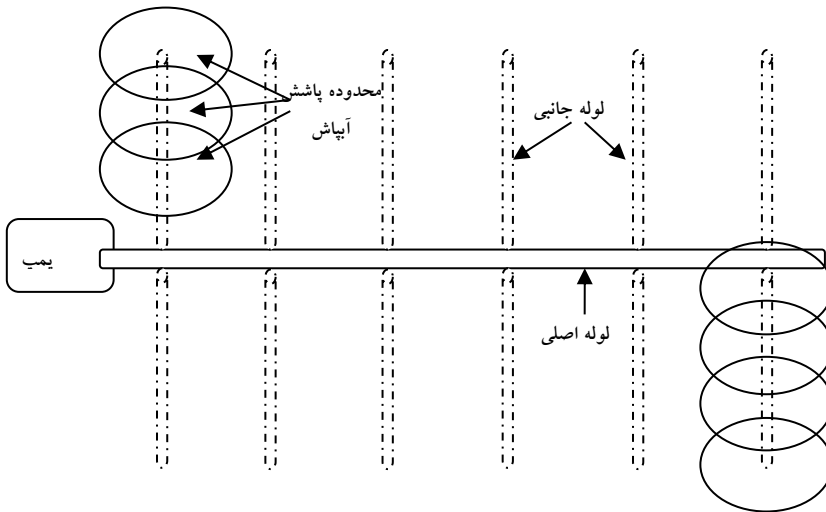


شکل ۱- نمایی از یک آبپاش ضربه‌ای دو نازله

۳- لوله‌های نگهدارنده آبپاش‌ها (رایزرها)، لوله‌های با قطر کوچک‌تر هستند که آب را از لوله جانبی دریافت و به آبپاش منتقل می‌کنند. رایزرها ارتفاع مختلفی دارند و با استقرار آبپاش‌ها در ارتفاع معین از برخورد مستقیم جت خروج آب با گیاهان جلوگیری می‌کنند.

۴- لوله‌های اصلی و نیمه اصلی، این شبکه لوله‌ها آب را برای لوله‌های جانبی فراهم می‌کند و به‌طور همزمان می‌تواند چند لوله جانبی را آبرسانی کند (شکل ۲).

۵- دستگاه تامین‌کننده انرژی و فشار (پمپ)، برای راه‌اندازی سامانه آبیاری، پمپ آب را از مخزن دریافت و فشار مورد نیاز سامانه آبیاری را برای انتقال آن به بخش‌های دیگر فراهم می‌کند.



شکل ۲- نمایی از اجزای اصلی یک سامانه آبیاری بارانی

روش‌های آبیاری بارانی

انواع سامانه‌های آبیاری بارانی به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند.

۱- سامانه‌های ثابت، در این سامانه‌ها برای آبیاری یک واحد مشخص، لوله‌های جانبی و در نتیجه آبپاش‌های مستقر روی آنها در حین آبیاری حرکت ندارند. به عبارت ساده‌تر آبپاش‌ها در حین آبیاری در یک محل ثابت هستند. سامانه‌های ثابت خود به سه گروه متحرک دوره‌ای، سامانه‌های ثابت با آبپاش‌های متحرک (جابه‌جا شونده) و کاملاً ثابت تقسیم بندی می‌شوند. انتقال لوله‌ها ممکن است به صورت دستی یا به صورت مکانیکی باشد. در سامانه ثابت با آبپاش‌های متحرک، عموماً کلیه لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و جانبی در زیر خاک نصب می‌شوند و برای همیشه ثابت هستند و فقط آبپاش‌ها همراه با لوله‌های نگهدارنده آبپاش پس از اتمام آبیاری به محل دیگری منتقل می‌شوند. در گروه کاملاً ثابت، کلیه تجهیزات آبیاری در تمامی فصل رشد گیاه (فصل آبیاری) در یک مکان ثابت هستند و در فاصله‌های بین آبیاری‌ها، سامانه جابه‌جا نمی‌شود.

۲- سامانه‌های متحرک پیوسته، شامل همه روش‌هایی است که آبپاش‌ها در حین آبیاری به طور مداوم در حرکت هستند. به عبارت ساده‌تر، آبپاش در حین حرکت آبیاری هم می‌کند. این روش در مقایسه با روش قبلی به دلیل اینکه سامانه آبیاری در حال آبیاری جابه‌جا می‌شود می‌تواند مساحت بیشتری در زمان مشخص آبیاری کند و از این نظر سودمندتر است. آبفشان عقربه‌ای (Center Pivot)، آبفشان خطی (Linear Move) و آبیاری بارانی دقیق با انرژی کم (Low Energy Precision Application, LEPA) و آبفشان قرقره‌ای (گان) و آبفشان قرقره‌ای بوم دار جزء این گروه قرار دارند.

یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی

توزیع آب با یکنواختی بالا برای استفاده موثر از آب آبیاری ضروری است. اما یکنواختی‌های بالا، معمولاً با افزایش هزینه‌های ثابت و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری همراه است، از این رو طراحی سامانه آبیاری بصورتی است که ضمن برخورداری از یکنواختی قابل قبول از نظر اقتصادی نیز قابل توجه باشد.

برای بیان یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی از معیارهای متعددی استفاده می‌شود، با این همه، ضریب یکنواختی کریستیانسن در مقایسه با سایر روش‌ها اعتبار بیشتری دارد و شرکت‌های سازنده آبپاش‌ها معمولاً از این ضریب برای ارزیابی آبپاش‌ها استفاده می‌کنند. برای تخمین یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری بارانی، قبل از برپایی سامانه در مزرعه، می‌توان از جدول‌های موجود و ارائه شده توسط کارخانه سازنده استفاده کرد اما دقیق‌ترین روش تعیین یکنواختی توزیع آب پس از اجرای سامانه آبیاری، اندازه‌گیری پارامترهای لازم در مزرعه و محاسبه یکنواختی توزیع آب در مزرعه است. در این صورت می‌توان علاوه بر تعیین یکنواختی واقعی توزیع آب در مزرعه، سامانه آبیاری را در حین بهره‌برداری از جنبه‌های مختلف فنی و بهره‌برداری ارزیابی و نقاط ضعف و قوت آن را تعیین کرد و در صورت نیاز راهکارهایی برای بهبود وضعیت موجود ارائه داد. در این نشریه سعی بر آن است تا ضمن ارائه شاخص‌های علمی ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی ثابت با جابه‌جایی آبپاش‌ها، مراحل صحیح اجرایی آن نیز ارائه گردد.

برای ارزیابی سامانه آبیاری بارانی به اطلاعات مختلفی نیاز است که در ادامه تشریح می‌گردد (میرام و کلر، ۱۹۷۹؛ محمد، ۲۰۱۳؛ هوا و همکاران، ۲۰۲۴):

اطلاعات مورد نیاز ارزیابی سامانه آبیاری بارانی

اطلاعات مربوط به خاک

بافت خاک، ظرفیت زراعی، جرم مخصوص ظاهری و کمبود رطوبت خاک (SMD).

اندازه‌گیری و تعیین پارامترهای گیاهی

برای هر سامانه باید نوع محصول، الگوی کشت، عمق توسعه ریشه، نیاز آبی محصول 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 الگوی پاشش و قطر خیس شده توسط آبپاش‌ها به اندازه‌گیری مزرعه‌ای نیاز دارد.

اطلاعات مدیریتی سامانه

اطلاعات مدیریتی سامانه عبارت‌اند از فشار کارکرد سامانه در سر نازل‌ها، دبی نازل‌ها، دور آبیاری و مدت زمان آبیاری که عمق ناخالص آب آبیاری را تحت تاثیر قرار می‌دهند. رطوبت خاک پیش از هر آبیاری بر عمق آب قابل ذخیره در منطقه ریشه گیاه موثر است. این پارامتر از جمله پارامترهایی است که باید پیش از آبیاری در مزرعه اندازه‌گیری شود.

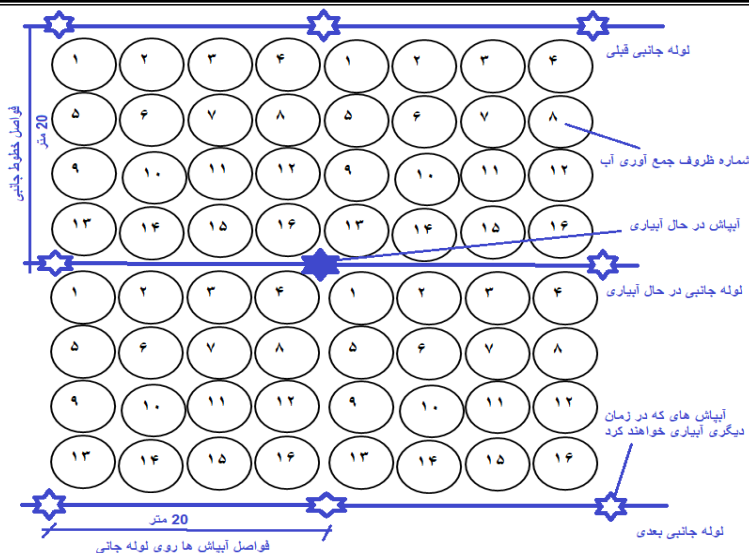
مشخصات هیدرولیکی سامانه آبیاری بارانی

این پارامترها شامل این موارد است: تعیین میزان فشار در ایستگاه پمپاژ، میزان فشار ورودی به لوله‌های جانبی، افت فشار در لوله جانبی در حال آبیاری، فشار در سرنازل آبپاش‌های در حال آبیاری، میانگین دبی خروجی از آبپاش‌ها در فشار کارکرد سامانه، میانگین آب رسیده به سطح زمین، یکنواختی پخش آب، راندمان پتانسیل کاربرد آب در چارک پایین، تلفات تبخیر و باد بردگی، تلفات نفوذ عمقی، و راندمان واقعی کاربرد آب در چارک پایین. اندازه‌گیری برخی از پارامترها مانند فشار در ایستگاه پمپاژ، در صورتی که تجهیزات لازم در محل مورد نظر نصب شده باشد، ساده است. ولی اندازه‌گیری برخی از پارامترها مانند یکنواختی پخش آب توسط آبپاش‌ها و میانگین عمق آب رسیده به سطح زمین به سادگی مقدور نیست. برای اندازه‌گیری یکنواختی پخش آب، ابتدا باید با اندازه‌گیری فشار در سرنازل آبپاش‌های در حال آبیاری حداقل، حداکثر و میانگین فشار کارکرد سامانه تعیین شود. برای اندازه‌گیری عمق آب رسیده به سطح زمین، ابتدا باید یکی از لوله جانبی به عنوان بلوک آزمایشی انتخاب شود، که فشار کارکرد آبپاش‌ها در حدود فشار متوسط کارکرد سامانه در حال آبیاری باشد. پس از آن با توجه به نوع سامانه آبیاری بارانی (کلاسیک نیمه متحرک و کلاسیک ثابت با جابه‌جایی آبپاش‌ها) محدود بلوک آزمایشی شبکه بندی و ظروف جمع آوری آب در مرکز هر شبکه‌ها قرار گیرد.

روش شبکه بندی در سامانه کلاسیک ثابت با جابه‌جایی آبپاش

در سامانه‌های کلاسیک ثابت با جابه‌جایی آبپاش‌ها عمدتاً از آبپاش‌های با دبی و فشار بالا استفاده می‌شود، از این رو در زمان آبیاری روی هر لوله جانبی فقط یک آبپاش در حال آبیاری است و پس از اتمام مدت زمان آبیاری در یک مکان، آبپاش به محل بعدی منتقل می‌شود و در موقعیت جدید آبیاری ادامه می‌یابد. به عبارت دیگر، پروفیل پاشش آبپاش‌ها در زمان آبیاری هیچگونه همپوشانی ندارد، بلکه همپوشانی پروفیل پاشش آبپاش‌های در زمان‌های مختلفی اتفاق می‌افتد. در این سامانه باید اطراف آبپاش در حال آبیاری از هر طرف تا محل آبپاش بعدی مطابق با شکل (۳) شبکه بندی شود (فاصله آبپاش‌ها مضربی از فاصله‌های شبکه‌ها و حداقل تعداد ظروف ۲۴ عدد است) و در مرکز هر شبکه از ظرف جمع‌آوری آب استفاده گردد. با توجه به اینکه فقط یک آبپاش در حال آبیاری است، برای در نظر گرفتن تاثیر آبپاش‌های مجاور باید حجم آب جمع‌آوری شده در چهار طرف (چهار چارک) آبپاش با هم جمع شوند. به عبارت دیگر، حجم آب ظرف‌های جمع‌آوری با شماره یکسان در شکل (۳) باهم جمع شود تا تاثیر آبپاش‌های مجاور منظور گردد. این نحوه محاسبه در شرایطی درست است که شعاع پاشش آبپاش مورد بررسی کمتر از فاصله آبپاش‌ها روی لوله جانبی و فاصله لوله‌های جانبی روی لوله فرعی باشد.

تهیه این حجم از اطلاعات و شاخص‌های عملکردی در سامانه آبیاری بارانی آسان 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، مدیریتی صورت گیرد. دفترچه‌های طراحی سامانه تهیه و اطلاعات مندرج در دفترچه بررسی گردد و سپس با حضور در محل اجرای سامانه، اندازه‌گیری‌های لازم بشود و شاخص‌های ارزیابی سامانه محاسبه گردد. در ادامه، پارامترها و شاخص‌های اصلی مورد نیاز برای ارزیابی سامانه‌های ثابت (آبپاش‌های ثابت در زمان آبیاری) براساس استاندارد بین‌المللی انجمن مهندسان کشاورزی ایالات متحده آمریکا، ASAE و دستورالعمل پیشنهادی مریام و کلر در سال ۱۹۷۸ که دارای اعتبار جهانی است، آورده شده است:

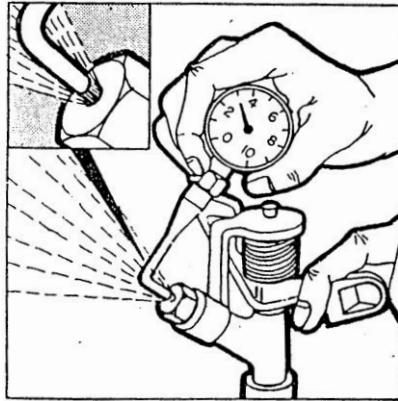


شکل ۳- نمایی از چیدمان ظروف های جمع آوری آب در یک سامانه کلاسیک ثابت با جابه جایی آبیان ها و شبکه بندی ۵*۵ متر

شاخص های ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری بارانی

تعیین میانگین فشار کارکرد آبیان ها (P_{mean})

فشار کارکرد آبیان ها باید در سر نازل ها و با استفاده از فشارسنج و لوله پیتو متصل به آن اندازه گیری شود (شکل ۴). برای این منظور لازم است لوله پیتو در فاصله ای اندک از جت خروجی از نازل قرار گیرد تا فشار قرائت شده نماینده فشار کارکرد آبیان ها باشد. در آبیان هایی که دو یا چند نازل دارند باید فشار همه نازل ها اندازه گیری و میانگین فشارهای اندازه گیری شده در هر آبیان مد نظر قرار گیرد. با توجه به توپوگرافی اراضی و افت اصطکاکی فشار در لوله های اصلی، نیمه اصلی و جانبی، فشار کارکرد آبیان ها در صورت امکان باید در ۱۰ تا ۲۰ آبیان در نقاط مختلف مزرعه اندازه گیری شود، تا بتوان ضمن تعیین میانگین فشار کارکرد آبیان ها، حداقل و حداکثر فشار کارکرد سامانه را تعیین کرد.



شکل ۴- نمایی از اندازه‌گیری فشار کارکرد آبپاش‌ها در سر نازل‌ها، استفاده از فشارسنج و لولهٔ پیتو متصل به آن

دبی خروجی از آبپاش‌ها (Qs)

پس از تعیین میانگین فشار کارکرد سامانه باید دبی آبپاش در مکان‌های مختلفی از لولهٔ جانبی به صورت حجمی با شیلنگ و ظرف مدرج (۲۰ تا ۳۰ لیتری) و کروномتر اندازه‌گیری شود (شکل ۵). با سنجش دبی آبپاش‌ها، میزان دبی و تغییرات آن در نقاط مختلف سامانه و در نتیجه دبی متوسط آبپاش‌ها در سامانه محاسبه می‌شود. اگر تجهیزات لازم در شبکه موجود باشد می‌توان با اندازه‌گیری دبی در ابتدای شبکه با کنتور حجمی، آبدهی منبع یا دبی ورودی را به دست آورد و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه کرد.



شکل ۵- نمایی از اندازه‌گیری دبی نازل‌های آبیاش با استفاده از شیلنگ و سطل

شدت پاشش آبیاش (R)

شدت پاشش یا ریزش با توجه به میانگین دبی خروجی از آبیاش‌ها و مساحت اختصاص یافته به هر آبیاش (حاصل ضرب فاصله آبیاش‌ها روی لوله جانبی در فاصله لوله‌های جانبی روی لوله اصلی یا نیمه اصلی) از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$R = \frac{Q_s}{S_l \times S_m} \quad (۱)$$

در رابطه بالا: R، شدت پاشش آبیاش (میلی متر بر ساعت)، Q_s ، میانگین دبی اندازه‌گیری شده خروجی از آبیاش‌ها (لیتر بر ساعت)، S_l فاصله آبیاش‌ها روی لوله جانبی (متر) و S_m ، فاصله لوله‌های جانبی روی لوله اصلی (متر) است.

ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)

ضریب یکنواختی کریستیانسن یکی از شاخص‌هایی است که به‌طور وسیعی در ارزیابی یکنواختی آبیاری بارانی به کار می‌رود. این رابطه در سال ۱۹۴۲ توسط کریستیانسن به شکل زیر ارائه شده است (Christiansen, 1942):

$$CU = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |D_{i,t} - D_{mean,t}|}{\sum_{i=1}^n D_{i,t}} \right) \quad (۲)$$

$D_{i,t}$ ، عمق یا حجم آب در هر یک از قوطی‌های جمع‌آوری آب در هر نقطه از شبکه در مدت زمان آزمایش

$D_{mean,t}$ ، میانگین حجم یا عمق آب جمع شده در قوطی‌ها در مدت زمان آزمایش

n ، تعداد مشاهدات است

یکنواختی توزیع آب در مزرعه (DU)

مریام و کلر (۱۹۷۸) یکنواختی توزیع (DU) را به عنوان معیاری عددی برای بیان میزان یکنواختی پخش آب ارائه دادند که نشان دهنده یکنواختی پخش آب در مزرعه است و با رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$DU = 100 \times \frac{D_{lq,t}}{D_{mean,t}} \quad (3)$$

در رابطه بالا $D_{lq,t}$ میانگین حجم یا عمق یک چهارم کمترین اندازه‌گیری‌هاست که در مساحت‌های یکسان (شبکه بندی) در مدت زمان آزمایش اندازه‌گیری شده‌اند.

باتوجه به اختلاف فشار کارکرد آبپاش‌ها در لوله‌های جانبی در حال آبیاری، به دلیل شرایط توپوگرافی و افت فشار اصطکاک در لوله‌های جانبی در حال آبیاری، مقداری که برای شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع آب در بلوک آزمایشی اندازه‌گیری و محاسبه شده است با مقادیر سامانه آبیاری متفاوت است و باید با توجه به اختلاف فشار موجود در سامانه اصلاح شوند تا بتوان آنها را به کل سامانه تعمیم داد. برای این منظور از رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده می‌شود (احمدزاده و امامی‌فر، ۱۴۰۲؛ کلر و بلیزنر، ۱۹۹۰؛ هوآ و همکاران ۲۰۲۴؛ ASAE, 1985 and 2003).

$$CUs = CU \times \left(\frac{1 + \left(\frac{P_{min}}{P_{mean}} \right)^{0.5}}{2} \right) \quad (4)$$

$$DUs = DU \times \left(\frac{1 + 3 \left(\frac{P_{min}}{P_{mean}} \right)^{0.5}}{4} \right) \quad (5)$$

در رابطه‌های بالا: CU_s و Du_s به ترتیب ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع آب در کل سامانه آبیاری و P_{min} و P_{mean} به ترتیب حداقل و میانگین فشار کارکرد آبیاری‌های در حال آبیاری در سامانه هستند.

بازده سامانه با توجه به یکنواختی پخش آب تعیین شده در سامانه و با این شرط که یک یا چند فصل آبیاری از بهره‌برداری سامانه گذشته باشد، بر اساس جدول (۱) طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۱- طبقه‌بندی راندمان سامانه براساس یکنواختی پخش آب، راندمان واقعی و پتانسیل کاربرد چارک پایین سامانه (لوکس مینی و همکاران، ۲۰۱۵، مریام و کلر، ۱۹۷۹)

راندمان سامانه	%CU	% DU
عالی	>۹۰	۸۷
خوب	۹۰-۸۰	۸۷-۷۵
متوسط	۸۰-۷۰	۷۵-۶۲
ضعیف	۷۰-۶۰	-
غیر قابل قبول	< ۶۰	< ۶۲

میانگین عمق آب کاربردی در سطح مزرعه (D_r)

این شاخص با استفاده از میانگین دبی اندازه‌گیری شده خروجی از آبیاری‌ها (Q_s)، مدت زمان آبیاری در هر نوبت آبیاری (T_i) و سطح اختصاص یافته به هر آبیاری ($S_m * S_l$) بر حسب میلی‌متر، با استفاده از رابطه (۶) تعیین می‌شود.

$$D_r = \frac{Q_s \times T_i}{S_l \times S_m} \quad (۶)$$

در این رابطه، D_r ، میانگین کلی عمق آب کاربردی در سطح اختصاص یافته به هر آبپاش (میلی‌متر) و S_1 ، فاصله آبپاش‌ها روی لوله جانبی (متر) و S_m ، فاصله لوله‌های جانبی روی لوله اصلی (متر) است.

راندمان پتانسیل کاربرد چارک پایین (PELQ)

راندمان پتانسیل کاربرد کم‌ترین چارک اشاره به عملکرد سامانه‌ای دارد که مدیریت آن نسبتاً خوب و آبیاری نیز مناسب است و در سامانه‌های آبیاری به‌صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود:

$$PELQ = \frac{\text{میانگین کمترین چارک عمق نفوذ که برابر MAD باشد}}{\text{میانگین عمق آبیاری پس از اینکه MAD جبران شده باشد}} \times 100 \quad (7)$$

باتوجه به اینکه راندمان پتانسیل کاربرد کم‌ترین چارک تابع عمق آب آبیاری نیست، می‌توان مقدار این شاخص را به‌طور مستقیم از مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش (میانگین عمق آب جمع‌آوری شده در چارک پایین اندازه‌گیری‌های در مدت زمان آزمایش و میانگین عمق آب خروجی از آبپاش‌ها در مدت زمان آزمایش) از رابطه (۸) محاسبه کرد.

$$PELQ = 100 \times \frac{D_{lq-t}}{D_{r-t}} \quad (8)$$

در رابطه بالا: D_{r-t} ، عمق آب خارج شده از آبپاش‌ها در مدت زمان آزمایش بر حسب میلی‌متر است.

راندمان واقعی کاربرد چارک پایین (AELQ)

راندمان واقعی سامانه آبیاری بارانی با مشخص کردن مقدار آب ذخیره شده در منطقه ریشه، که برای مصرف گیاه قابل استفاده است، امکان‌پذیر خواهد بود. از این رو پیش از پرداختن به راندمان واقعی در چارک پایین باید به میزان آب ذخیره شده در منطقه ریشه گیاه پرداخته شود.

کمبود رطوبت خاک در منطقه ریشه گیاه (SMD)

رطوبت خاک پیش از آبیاری بر عمق آب قابل ذخیره در منطقه ریشه گیاه موثر است و از این رو این پارامتر باید پیش از آبیاری در مزرعه اندازه گیری و با استفاده از رابطه (۹) کمبود رطوبت خاک در منطقه ریشه گیاه محاسبه شود.

$$SMD = \frac{(FC - \theta_i) \times D_z}{100} \quad (9)$$

در رابطه بالا: FC، رطوبت حجمی ظرفیت زراعی (درصد)، θ_i ، رطوبت حجمی خاک پیش از آبیاری (درصد)، D_z ، عمق توسعه ریشه (میلی متر)، کمبود رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه گیاه (میلی متر)

راندمان چارک پایین نشان دهنده این است که سامانه آبیاری تا چه اندازه در مزرعه خوب کار می کند. زمانی که میانگین عمق آب نفوذ یافته (عمق آب جمع شده در ظرفها) در چارک پایین مزرعه (D_{lq}) بیشتر از کمبود رطوبت خاک (SMD) در مزرعه باشد، آبیاری بیشتر از نیاز صورت گرفته است و بازدهی واقعی چارک پایین کمتر از مقدار پتانسیل در چارک پایین است و از طریق رابطه (۱۰) محاسبه می شود.

$$AELQ = 100 \times \frac{SMD}{D_r} \quad (10)$$

اگر میانگین عمق آب نفوذ یافته در چارک پایین مزرعه (D_{lq}) بر حسب میلی متر، کمتر از کمبود رطوبت خاک (SMD) باشد، کم آبیاری رخ داده است و در نتیجه بازدهی کاربرد چارک پایین از رابطه (۱۱) محاسبه می شود (مریام و کلر، ۱۹۷۹).

$$AELQ = 100 \times \frac{D_{lq}}{D_r} \quad (11)$$

در رابطه بالا: D_{lq} ، میانگین عمق آب نفوذ یافته در چارک پایین مزرعه (میلی متر) و D_r ، میانگین عمق آب اندازه گیری شده در سر آبیاش ها بر حسب میلی متر است. اگر عمق آب نفوذ یافته در چارک پایین مزرعه برابر کمبود رطوبت خاک مزرعه باشد آبیاری به مقدار نیاز نبوده است و راندمان واقعی کاربرد در چارک پایین برابر مقدار راندمان پتانسیل است. به عبارت دیگر، راندمان پتانسیل توانایی سامانه اجرا شده را نشان می دهد،

ولی راندمان واقعی، میزان مطابقت مدیریت بهره برداری از سامانه را با مدیریت بهینه نشان می‌دهد.

اگر فشار کارکرد آبپاش‌های در حال کار سامانه یکسان نباشد، بازده پتانسیل کاربرد کل سامانه کمتر از بازدهی تعیین شده در ناحیه مورد آزمایش است و لازم است با توجه به ضریب کاهش راندمان اصلاح گردد تا بتوان آن را به کل سامانه تعمیم داد.

ضریب کاهش راندمان (ER):

ضریب کاهش بازدهی، اختلاف نسبی فشار کارکرد اندازه‌گیری شده در سر نازل آبپاش‌ها در کل لوله‌های جانبی در حال آبیاری سامانه را نشان می‌دهد و با رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود (مریام و کلر، ۱۹۷۹؛ احمدزاده و امامی فر ۱۴۰۲).

$$ER = 0.2 \times \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{mean}} \quad (12)$$

در رابطه بالا: P_{min} ، P_{max} و P_{mean} به ترتیب حداقل، حداکثر و میانگین فشارهای اندازه‌گیری شده در سر نازل آبپاش‌های در حال آبیاری در لوله‌های جانبی سامانه است.

در رابطه‌های (۸)، (۱۰) و (۱۱)، راندمان پتانسیل و راندمان کاربرد چارک پایین محاسبه شده در بلوک آزمایشی است و برای تعمیم آن‌ها به سامانه باید با توجه به ضریب کاهش راندمان از رابطه‌های (۱۳) و (۱۴) اصلاح گردند تا بتوان آن را به کل سامانه تعمیم داد.

$$PELQ_s = (1-ER) \times PELQ \quad (13)$$

$$AELQ_s = (1-ER) \times AELQ \quad (14)$$

معیارهای کلی برای توصیف عملکرد راندمان واقعی و پتانسیل کاربرد چارک پایین سامانه براساس دستورالعمل اداره حفاظت خاک آمریکا (SCS) ارائه شده است. برای سامانه‌هایی که یک یا چند فصل از بهره‌برداری آنها گذشته است. محدوده قابل قبول برای این دو شاخص، مقادیر بیش از ۶۵ درصد توسط مریام و کلر، ۱۹۷۹، پیشنهاد شده است.

تلفات تبخیر و بادبردگی (WDRL)

در آبیاری بارانی، آب هنگام خروج از آبپاش‌ها به صورت قطره‌های ریز در می‌آید و در اثر سرعت باد از منطقه تحت آبیاری خارج می‌گردد و مقداری از آن نیز در حین آبیاری تبخیر

می شود و به تاج گیاه نمی رسد، از این رو تلفات تبخیر و بادبردگی را می توان با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه کرد.

$$WDEL = 100 \times \left(\frac{D_r - D_{mean}}{D_r} \right) \quad (15)$$

تلفات نفوذ عمقی (D_p)

توزیع کاملاً یکنواخت آب در سطح مزرعه امکان پذیر نیست به همین دلیل بخش های مختلف مزرعه با توجه به یکنواختی سامانه آبیاری عمق های متفاوتی از آنها آب دریافت می کنند. اگر عمق آب دریافتی بیش از کمبود رطوبت خاک در آن ناحیه باشد، آب اضافی از منطقه ریشه خارج و تلفات نفوذ عمقی شناخته می شود. میزان تلفات نفوذ عمقی در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری بر حسب میلی متر از رابطه ۱۶ محاسبه می شود (احمدزاده و امامی فر ۱۴۰۲).

$$D_p = 100 \times \frac{(D_{mean} - SMD) \times \frac{N_h}{N}}{D_r} \quad (16)$$

در رابطه بالا: N_h تعداد ظرف ها با عمق آب بیش از کمبود رطوبت خاک و N تعداد کل ظرف های جمع آوری آب است

کفایت آبیاری در مزرعه (AD_{irr})

نسبتی از سطح مزرعه را که عمقی برابر یا بیشتر از کمبود رطوبت خاک دریافت کرده اند می توان از رابطه ۱۷ به دست آورد.

$$AD_{irr} = 100 \times \frac{N_h}{N} \quad (17)$$

برای اندازه گیری های مزرعه ای و محاسبه شاخص های مذکور به حداقل وسایل و تجهیزات نیاز است که در زیر شرح داده می شود.

وسایل و تجهیزات مورد نیاز ارزیابی سامانه آبیاری بارانی

- فشارسنج مجهز به لوله پیتو
- ظرف جمع‌آوری آب
- استوانه مدرج برای قرائت حجم آب جمع‌آوری شده
- یک عدد کروномتر
- یک عدد بیل و یک عدد مته نمونه‌برداری خاک
- بطری نمونه‌برداری در دار با حجم مناسب برای نمونه‌برداری از آب
- فرم‌های ثبت اطلاعات و مشخصات اجرایی

ارزیابی سامانه آبیاری و ارائه راهکارهای بهبود عملکرد آن

پس از اینکه داده‌های گفته شده اندازه‌گیری، محاسبه و به کمک بهره‌بردار سامانه 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 و میزان تاثیر عوامل مختلف تعیین و پیشنهادهای لازم برای بهبود عملکرد سامانه ارائه شود. این بخش در قالب مثال کاربردی زیر ارائه شده است.

مثال کاربردی

- ۱- محل ارزیابی: شهرستان گلپایگان اصفهان، ارزیابی کننده:.....، تاریخ ارزیابی: ۱۳۹۸/۳/۱۸
- ۲- نوع گیاه: یونجه، عمق ریشه: ۷۵/۰ متر
- ۳- مشخصات خاک، بافت خاک: لومی رسی مقدار آب قابل دسترس خاک: ۱۶۰ (میلی‌متر در متر) و تبخیر تعرق گیاه یونجه در منطقه، ۷/۰ میلی‌متر در روز
- ۴- دور آبیاری ۷ (روز)، ضریب تخلیه مجاز گیاه، ۵۰ درصد (براساس دفترچه طراحی) و مدت زمان آبیاری: ۶ (ساعت)

- ۵- کارخانه سازنده آبیاش‌ها: ویر، نوع آبیاش: ویر ۱۵۵، فاصله آبیاش‌ها: ۲۵*۲۵ متر
- ۶- بر اساس مدل آبیاش، دبی آبیاش: ۲/۳۶ (لیتر در ثانیه)، در فشار ۴ اتمسفر
- ۷- فشار خروجی در محل پمپاژ برابر ۴/۲ اتمسفر اندازه‌گیری شد (اظهار نظر در خصوص این فشار به بررسی افت مسیر و توپوگرافی مزرعه نیاز دارد ولی بررسی‌های اولیه نشان داد که این فشار با توجه فشار مورد نیاز آبیاش‌ها و افت مسیر نسبتاً مناسب است).
- ۸- بر اساس اندازه‌گیری فشار در نازل آبیاش مختلف در حال کار در مزرعه، حداقل، حداکثر و میانگین فشار ورودی به آبیاش‌های در حال کار به ترتیب ۳/۵۳، ۴/۰۲ و ۳/۷۱ اتمسفر تعیین شد.
- ۹- با توجه به حداقل، حداکثر و میانگین فشار ورودی اندازه‌گیری شده در نازل آبیاش‌های در حال کار، اختلاف فشار کارکرد آبیاش‌ها ۰/۴۹ اتمسفر محاسبه شد که کمتر از مقدار مجاز (یعنی ۲۰ درصد ۳/۷ اتمسفر، برابر ۰/۷۴ اتمسفر) است.
- ۱۰- میانگین دبی خروجی از آبیاش منتخب (که فشار کارکرد آن نزدیک به میانگین فشار کارکرد آبیاش‌های در حال آبیاری بود) برابر ۲/۲ لیتر در ثانیه در فشار ۳/۷۵ اتمسفر اندازه‌گیری شد.
- ۱۱- مقادیر آب جمع شده در ظرف‌ها در اطراف آبیاش منتخب در شبکه ۵*۵ متر و فاصله آبیاش‌های ۲۵*۲۵ متر در مدت ۱/۲۵ ساعت اندازه‌گیری و نتایج در شکل ۶ آورده شده است.

				2	4	2		
			1	13	18	13	4	
		7	24	34	41	35	23	10
1	5	27	41	57	94	60	44	22
2	16	40	68	100	85	81	57	35
17	28	44	84	96	50	91	73	51
7	27	37	67	84	68	80	59	50
1	14	28	55	73	71	59	52	40
	1	23	38	51	45	40	43	18
		2	12	22	14	15	2	

شکل ۶- حجم آب اندازه‌گیری شده در اطراف یک آبیاش در سامانه کلاسیک ثابت با جابه‌جایی آبیاش (آبیاش متحرک) با فاصله ۲۵*۲۵ متر با شبکه بندی ۵*۵ متر

۱۲- با در نظر گرفتن تاثیر آبپاش‌های مجاور در سطح 25×25 متر، میزان شبیه سازی شده در شبکه 5×5 متر تعیین و نتایج در شکل ۷ ارائه شده است.

0+4+17+50=71	121	117	135	122
93	120	100	118	114
113	108	110	129	108
140	106	137	119	118
101	112	101	115	140

شکل ۷- حجم آب شبیه سازی شده با در نظر گرفتن اثر آبپاش‌های جانبی در سامانه

کلاسیک ثابت با جابه‌جایی آبپاش (آبپاش متحرک) با فاصله 25×25 متر

۱۳- عمق آب ظرف‌ها در شبکه با در نظر گرفتن سطح مقطع آنها و تاثیر آبپاش‌های جانبی مجاور با استفاده از مقادیر شبیه سازی شده (شکل ۶)، مدت زمان آزمایش و مدت زمان آبیاری مزرعه تعیین شد. عمق‌های محاسبه شده به‌صورت نزولی مرتب شدند و میانگین کل عمق آب نفوذ یافته و میانگین عمق نفوذ یافته در چارک پایین به ترتیب $70/2$ و $58/3$ میلی‌متر محاسبه شد. با توجه به میانگین‌های محاسبه شده و استفاده از رابطه شماره ۲ و ۳، ضریب یکنواختی توزیع آب کریستیانسن و یکنواختی پخش آب در ناحیه لوله جانبی مورد آزمایش به ترتیب $90/3$ و $83/1$ درصد تعیین شد که بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۱) راندمان یکنواختی پخش آب در ناحیه مورد آزمایش در دسته عالی طبقه بندی می‌شود.

۱۴- باتوجه به اختلاف فشار کارکرد آبپاش‌ها در لوله‌های جانبی در حال آبیاری، به دلیل شرایط توپوگرافی و افت فشار اصطکاک در لوله‌های جانبی در حال آبیاری، برای تعمیم نتایج به کل سامانه، مقادیر شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی توزیع آب در بلوک آزمایشی اندازه‌گیری شده با توجه به اختلاف فشار موجود در سامانه اصلاح شدند. ضریب یکنواختی کریستیانسن و یکنواختی پخش آب برای کل سامانه (DU_s , EU_s) به ترتیب از طریق رابطه‌های (۴) و (۵) برابر

۸۹/۲ و ۸۱/۶ درصد محاسبه شد. با توجه به اینکه چند فصل آبیاری از بهره‌برداری سامانه گذشته است، بر اساس معیار کلی ارائه شده توسط اداره حفاظت خاک آمریکا (SCS)، برای توصیف عملکرد راندمان سامانه (جدول ۱)، سامانه مورد ارزیابی از نظر این شاخص در دسته خوب قرار گرفت.

۱۵- میانگین عمق آب کاربردی در سطح مزرعه (آب خروجی از آبپاش‌ها) با استفاده از میانگین دبی اندازه‌گیری شده، مدت زمان آبیاری و سطح اختصاص یافته به هر آبپاش از رابطه (۶) برابر ۷۶ میلی‌متر تعیین شد.

۱۶- پتانسیل کاربرد کم‌ترین چارک با در نظر گرفتن میانگین عمق آب نفوذ یافته در چارک پایین در زمان آزمایش، میانگین عمق آب خروجی از آبپاش در زمان آزمایش، از رابطه (۸) برابر ۷۶/۷ درصد محاسبه شد.

۱۷- برای تعیین راندمان واقعی در چارک پایین لازم است ابتدا میزان کمبود رطوبت خاک مشخص شود. از این رو با در نظر گرفتن وزن مخصوص ظاهری خاک، رطوبت در ظرفیت زراعی مزرعه، اندازه‌گیری رطوبت خاک پیش از آبیاری با در نظر گرفتن عمق ریشه، کمبود رطوبت خاک (SMD) برابر ۵۶/۳ میلی‌متر تعیین شد که از میزان مجاز تخلیه رطوبت خاک (۶۰ میلی‌متر) کمتر است. این نتایج نشان می‌دهد که گیاه در این مرحله با تنش آبی روبه‌رو نشده است.

۱۸- نتایج میانگین عمق آب نفوذ یافته در چارک پایین (۵۸/۳ میلی‌متر) و کمبود رطوبت خاک در زمان آبیاری (۵۶/۳ میلی‌متر) نشان می‌دهد که کمبود رطوبت خاک در چارک پایین تامین شده است و از این رو راندمان واقعی در چارک پایین از رابطه (۱۰) برابر ۷۴ درصد محاسبه شد که نزدیک به مقدار راندمان پتانسیل کاربرد در چارک پایین (۷۶/۷ درصد) است.

۱۹- با توجه به متفاوت بودن فشار ورودی به آبپاش‌های در حال آبیاری، برای تعمیم نتایج حاصل از بلوک آزمایشی به کل سامانه، ضریب کاهش راندمان از رابطه شماره ۱۲ برابر ۰/۰۳ محاسبه شد.

۲۰- راندمان پتانسیل و راندمان کاربرد چارک پایین سامانه با استفاده از مقادیر این شاخص‌ها در بلوک آزمایشی و در نظر گرفتن ضریب کاهش راندمان از رابطه‌های (۱۴) و (۱۵) به ترتیب برابر $74/6\%$ و 72% درصد محاسبه شد. این نتایج نشان می‌دهد که راندمان کاربرد واقعی در چارک اول با مقدار پتانسیل این شاخص فاصله زیادی ندارد و مبین مدیریت نسبتاً مناسب آبیاری در سامانه است.

۲۱- بر اساس نتایج آزمایش اندازه‌گیری یکنواختی توزیع آب در مزرعه، میانگین عمق آب نفوذ یافته $70/2$ میلی‌متر است که این مقدار کمتر از میزان آب خروجی از آبپاش‌ها است و نشان می‌دهد که مقدار $5/8$ میلی‌متر ($7/7\%$ درصد) از آب آبیاری به صورت تلفات تبخیر و بادبرگی از دسترس خارج شده است.

۲۲- با توجه به اینکه میانگین عمق آب نفوذ یافته $70/2$ میلی‌متر، بیشتر از کمبود رطوبت خاک است، در نتیجه مقدار $13/9$ میلی‌متر (19% درصد آب آبیاری) از آب نفوذ یافته به صورت نفوذ عمقی از منطقه ریشه خارج شده است.

۲۳- نتایج ارزیابی درصد کفایت آبیاری حاکی از آن است که در 96% درصد از مزرعه کمبود رطوبت خاک تامین شده است به عبارت دیگر کفایت آبیاری 96% درصد است که کمی بیش از مقدار 80 تا 90% درصد توصیه شده است. اگرچه مزرعه مدیریت نسبتاً خوبی دارد ولی برای بهبود شرایط مدیریت آبیاری می‌توان از دو راهکار افزایش دور آبیاری از 6 روز به 7 روز یا کاهش مدت زمان آبیاری از 6 ساعت به $5/5$ ساعت با آزمون و خطا استفاده کرد. با توجه به شرایط موجود در مزرعه (امکان افزایش نیاز آبی در تیرماه) راهکار کاهش مدت زمان آبیاری پیشنهاد می‌شود.

پیشنهادهای کاربردی

- فشار کارکرد سامانه اندازه‌گیری و با مقادیر ارائه شده در دفترچه طراحی سامانه مقایسه شود و در صورت مغایرت، تمهیدات لازم (کاهش یا افزایش تعداد آبپاش‌های در حال آبیاری) 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.
- کمبود رطوبت خاک تعیین و با میانگین عمق آب نفوذ یافته مقایسه شود و در صورت نیاز پیشنهاد‌های اصلاحی (افزایش یا کاهش مدت زمان آبیاری) ارائه شود.
- میزان درصد کفایت آبیاری تعیین و با مقادیر توصیه شده توسط مراجع استاندارد مقایسه شود و در صورت مغایرت، تمهیدات لازم (کاهش یا افزایش درصد کفایت آبیاری) اندیشیده شود.

فهرست منابع

- احمدزاده کلیبر، ف.، امامی فر، م. ۱۴۰۲. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در اراضی توسعه کشت آبی دشت ارسباران. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، ویژه نامه تابستان ۱۴۰۲.
- اکبری، م.، صدق‌نژاد، ح.، زارعی، ق.، نخجوانی، م.، ۱۳۹۱. تاثیر سرعت باد و خصوصیات هیدرولیکی بر یکنواختی توزیع آب در آبپاش‌های متداول در آبیاری بارانی، آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۶ شماره ۱: ۳۰-۲۱.
- اکبری، م.، رحیم زاده‌گان، ر. اثرات باد و خصوصیات هیدرولیکی سیستم آبیاری بارانی بر راندمان توزیع آب، بهمن ۱۳۷۵، دومین کنگره ملی مسایل آب و خاک کشور.
- اکبری، م.، 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. ۱۳۹۱. ارزیابی سامانه‌های آبیاری تحت فشار، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به شماره ۹۱/۴۱۶۸۱ مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی
- اکبری، م.، زارعی، ق.، دهقانی‌سانج، ح.، صدق‌نژاد، ح. ۱۳۸۸. بررسی عملکرد هیدرولیکی و یکنواختی توزیع آب در تعدادی از آبپاش‌های متداول در آبیاری بارانی در آرایش‌های مختلف، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به شماره ۸۸/۵۲۶ مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.
- American Society of Biological Engineers. Procedure for Sprinkler Testing and Performance Reporting; ASAE S398.1; American Society of Biological Engineers: St. Joseph, MI, USA, 1985 and 2021.
- Christiansen, J.E. 1942. The uniformity of application of water by sprinkler systems. Agric Eng 22:89-92
- Faria, L.C.; Norenberg, B.G.; Colombo, A.; Dukes, M.D.; Timm, L.C.; Beskow, S.; Caldeira, T.L. Irrigation distribution uniformity analysis on a lateral-move irrigation system. Irrig. Sci. 2019, 37, 195-206.

- Hua, L.; Li, H.; Bortolini, L.; Jiang, Y. A model for predicting effects of rotation variation on water distribution of rotary sprinkler. *Irrig. Sci.* **2024**, *42*, 677–688.
- Keller J, Bliesner R D. Sprinkler and trickle irrigation. New York, N.Y.: An Avi Book, 1990; Van Nostrand Reinhold Pub.
- Luxmini KPAMK, Nanthakumaran A, Karunainathan. 2015. Technical feasibility Feasibility and The Performance of Sprinkler Irrigation System. *International Research Journal of Environment Sciences*. 4(9):59-62.
- Merriam J.L., and Keler J. 1979. Farm irrigation system evaluation: A guide for management, department of Agriculture Engineering, Utah State University, Second Printing.
- Mohamed, A.A. 2013. Evaluation of the hydraulic performance of sprinkler irrigation systems with multi cases *Global Journal of Research in Engineering*, Vol. 13 No. 2, pp. 12-18.
- Osman, M.; Hassan, S.B.; Yusof, K.B.W. Effect of combination factors of operating pressure, nozzle diameter and riser height on sprinkler irrigation uniformity. *Appl. Mech. Mater.* 2015, 695, 380–383.
- Zhang, L.; Merkley, G.P.; Pinthong, K. Assessing whole-field sprinkler irrigation 835 application uniformity. *Irrig. Sci.* **2013**, *31*, 87–105.