ارزیابی فنی سامانه های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در مطالعه موردی استان آذربایجان غربی – مهاباد

معروف سی وسه مرده*[۱] و مطلب بایزیدی[۲]

تاریخ دریافت:۸۹/۸/۲۳ تاریخ پذیرش:۸۹/۱۲/۱

چکیده

استفاده و دارای بازده زیاد از آب در دسترس به علت محدودیت منابع آب، و نیز ایجاد مشکلات زهکشی، ضروری است، بنابراین جهت بالابردن بازده آبیاری، سامانه های آبیاری بارانی در سالهای اخیر توسعه زیادی یافته اند. طراحی، اجرا و بهره‌برداری از یک سامانه آبیاری ممکن است صحیح و یا بطور نادرست انجام پذیرد، لذا ارزیابی سامانه برای مدیریت روشن می‌سازد که آیا بهره‌برداری از سامانه را ادامه دهد، یا اینکه تغییراتی در آن ایجاد نماید. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی سامانه های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجرا شده در منطقه مهاباد بوده، که برای این منظور سه سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت بطور کاملاً تصادفی انتخاب، و در سه مرحله مورد ارزیابی قرار گرفتنند. بدین منظور ابتدا فراسنجهایی از قبیل ویژگیهای هواشناسی، خاک، آب آبیاری، محصول، و خصوصیات سامانه از قبیل فشار و دبی(بده) آبپاشها اندازه‌گیری شدند. سپس شاخصهای ارزیابی شامل ضریب یکنواختی کریستین سن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد واقعی ربع پایین، بازده بالقوه ربع پایین، بازده کاربرد و بازده ترکیبی با تجزیه و تحلیل داده‌های صحرایی محاسبه شدند. نتایج نشان دادند که میانگین مقادیر ضریب یکنواختی کریستین سن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد ربع پایین و بازده بالقوه ربع پایین سامانه به ترتیب ۶۶/۴٪ ، ۵۲/۲٪ ، ۴۵/۸٪ و ۴۵/۸٪ بوده اند. همچنین، نتایج نشان دادند که میانگین تلفات تبخیر و بادبردگی، و نفوذ عمقی در این سامانه به ترتیب ۱۲/۲٪ و ۱۳/۴٪ و مجموع تلفات ۲۵/۶٪ بوده است. همچنین، نتایج بیانگر آنند که بازده کاربرد و بازده ترکیبی به ترتیب ۷۴/۴٪ و ۷۵/۸٪ بوده اند. شایان ذکر است که یکی از دلایل اصلی پایین‌بودن یکنواختی توزیع و بازده آبیاری در این سامانه ها سرعت باد و ضعف طراحی بوده است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، ارزیابی، بازده کاربرد، کلاسیک ثابت، مهاباد، یکنواختی توزیع.

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، گروه مهندسی آب، مهاباد، ایران.
۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج ، گروه مهندسی آب، سنندج ، ایران.
*- نویسنده‌ی مسوول مقاله: maroof_33m@yahoo.com

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت، و در پی آن افـزایش تقاضـا برای آب از یک سو و محدودیت منابع آب از سوی دیگـر، سبب ایجاد بحران شده است. ایـن امـر بـا گذشـت زمـان محـسوستر شـده اسـت، لـذا یـافتن راهکارهـای عملـی و متناسب جهت پیشگیری و یا مقابله با اثرات سوء حاصل از این پدیده دارای اهمیت ویژه‌ای است. با توجه به ایـن کـه در کشور مـا حـدود ۹۵٪ از منـابع آب موجـود در بخـش کشاورزی و برای آبیاری مصرف می‌شود، که نشان‌از نقـش اصلی و تعیین‌کننده آبیـاری در مـصرف بهینـه منـابع آب کشور دارد، با به کارگیری روشـهای آبیـاری تحـت فـشار، بازده آبیاری افزایش میابد، ولی همواره باید توجه داشـت که این روشها را تنهـا در شـرایطی ویـژه بایـستی توصـیه نمود. در شرایط کنونی، که چندسالی از توسـعه روشـهای آبیاری تحت فشار در کشور می‌گـذرد و تـا حـدودی ایـن سامانه ها جایگاه خود را در کشاورزی بـاز کـرده انـد، جـا دارد که در کنار توسعه کمی بـه توسـعه کیفـی آنهـا نیـز پرداخته شود. بـا بررسـی و ارزیـابی طرحهـای اجراشـده، می‌توان درجه موفقیـت را در هـر منطقـه ارزیـابی کـرده، نکات مثبت و منفی هر طرح را آشکار نموده و از آنها برای طراحی و اجرای طرحهای آینده استفاده کـرد (ابراهیمـی، ۱۳۸۵). بطورکلی، تحلیل هر سامانه آبیـاری کـه بـر پایـه اندازه‌گیری در شرایط واقعی مزرعه و در حین کار روزمـره سامانه استوار باشد، ارزیـابی مـی‌نامنـد (فاریـابی، ۱۳۸۸). ارزیابی از آن جهت مهم است کـه بـرای مـدیریت روشـن می‌سازد که آیا بهره‌برداری از سامانه کنونی را ادامه دهد، و یا آن را اصلاح کند. تشخیص این که بهره‌برداری از یـک سامانه آبیاری به چه خوبی انجام می‌گیـرد (بـازده کـاربرد واقعی)، یا می‌توانست مـورد اسـتفاده واقـع گـردد (بـازده کاربرد بالقوه)، تنهـا بـا انـدازه‌گیریهـای عملکـرد آنهـا در مزرعه قابل دستیابی است. بـه هـر حـال، ممکـن اسـت از مشاهده بعضی از خصوصیات عملکرد سامانه ها، تقریبهای نـسبتاً معقـولی بـه دسـت آیـد، و راهنماییهـایی را بـرای تصحیح بعـضی از مراحـل فـراهم آورد (سـهرابی و اصـلی منش، ۱۳۷۷) کمیته بین‌المللی آبیاری وزهکشی نیز توجه زیادی را به ارزیابی طرح هـای آبیـاری معطـوف نمـوده و شاخصهای متعددیرا برای ارزیابی طرحها در زمینه انتقال، توزیع وکاربرد آب، و جنبه‌های اجتماعی و زیست محیطی ارائه کرده است (بایزیدی، ۱۳۸۰). بیشتر نوشته‌های علمی درباره سامانه های آبیاری، در مورد بهبودسازی توزیـع آب در خاک متمرکز شده‌اند (دوارچین و لورنزینی، ۲۰۰۶).

یکنواختی توزیع (DU)، بازده کاربرد آب در ربع پایین (AELQ)[1]، بـازده بـالقوه کـاربرد آب در ربـع پـایین (PELQ)[2] و ضـریب یکنـواختی (CU) عمـده‌تـرین فراسـنجهای ارزیـابی سـامانه هـای بـارانی مـی باشـند. (قاسم‌زاده مجـاوری، ۱۳۷۵). الغبـاری (۲۰۰۶) نیـز بـرای ارزیابی عملکرد ۶ سـامانه آبیـاری بـارانی سـنترپیوت در عربستان سعودی از سه شاخص ضریب یکنواختی هیرمان و هـین (۱۹۶۸)، DU و PELQ بهـره گرفـت. منتظـر و مریدنژاد (۲۰۰۸) جهت ارزیابی سامانه های آبیاری بـارانی بیله‌سوار مغان از ضرایب یکنواختی کریستین‌سن، هارت و رینولدز، ضریب یکنواختی آماری، یکنواختی توزیع و بازده تخلیه استفاده کرده اند. پریرا و همکاران از DU به عنوان ابزاری اساسی برای بهبود عملکرد سامانه های آبیاری نـام بـرده‌انـد (پریـرا و همکـاران، ۲۰۰۲). لـورنزینی(۲۰۰۲) و دوارچین و لورنزینی (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که در باب آبیاری بارانی، ارزیابی تلفـات جـت آب بـه دلیـل شـرایط محیطی را می‌توان به عنوان شاخصی مهم از عملکردهـای سـامانه در نظـر گرفـت. پژوهـشها نـشان مـی‌دهنـد کـه یکنواختی توزیع آب در بـسیاری از سـامانه هـای آبیـاری بارانی موجود در کشور ما کمتر از حد قابل قبول می‌باشـد (بایزیدی، ۱۳۸۰). در کـشورهای دیگـر نیـز ایـن موضـوع مشاهده شده اسـت (جـوان و همکـاران، ۲۰۰۲). فرایـابی (۱۳۸۸) نیـز گـزارش کـرد کـه در بـسیاری از مـوارد، یکنـواختی توزیـع آب در تمـام مزرعـه کـه بـه وسـیله شاخصهای ضریب یکنواختی توزیع اندازه‌گیری شده اسـت کمتر از استانداردهای قابل قبول می‌باشد.

کمی‌کردن یکنواختی توزیع به رابطـه ریاضـی نیازمنـد است. در این راستا، افراد مختلفی از جمله کریستین سن[3]، هارت و رینولدز[4]، ویلکوکس و اسوالز[5]، کـارملی، کریـدل و

[1] -Application Effeciency of Low Quarter
[2] -Potential Effeceincy of The Low Quarter
[3] -Cristien sen
[4]- Hart & Reynolds
[5]- Wilcox & Swailes

همکاران[۱]، بیل[۲]، هر و بنامی[۳]، متخصصین انجمن نیشکر هاوایی، مریام و کلر[۴]، کلر و بلیسنر و مونترو و همکارانش[۵] معادلات متفاوتی را ارائه نموده‌اند که اساس همه آنها بر توزیع آب در اطراف آبپاش استوار است (دوارچین و لورنزینی، ۲۰۰۶).

وضعیت توزیع آب در داخل مزرعه تحت تأثیر عوامل زیادی می‌باشد که از جمله آنها می‌توان به شرایط اقلیمی، طراحی و نصب، کیفیت وسایل به کاررفته، مدیریت و توپوگرافی(پستی و بلندی) اشاره کرد. از میان فراسنج‌های اقلیمی، مهمترین عامل اثرگذار باد است، که یکنواختی توزیع آب شدیداً تحت تأثیر سرعت و جهت آن می‌باشد. اکبری و رحیم‌زادگان(۱۳۷۵) اثر باد را بر یکنواختی توزیع آب آبپاشها بررسی کرده، نشان دادند که با افزایش سرعت باد یکنواختی توزیع کاهش می‌یابد. پلاین و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که باد مهمترین عامل محیطی مؤثر بر عملکرد سامانه های بارانی، و یکنواختی توزیع آب در آنها می‌باشد. زاپاتا و همکاران (۲۰۰۷) باد را مهمترین عامل مؤثر بر عملکرد سامانه های آبیاری بارانی دانستند و از کاهش شدید یکنواختی آبیاری به عنوان یکی از اثرات زیان‌آور باد نام بردند. ارتفاع آبپاشها نیزتاثیر زیادی بر یکنواختی آبیاری بویژه در سرعت زیاد باد دارد. کاهش ارتفاع آبپاشها باعث افزایش ضریب یکنواختی می‌شود (پلاین و همکاران، ۲۰۰۵).

پریرا و همکاران(۲۰۰۲) عوامل مؤثر بر بازده کاربرد سامانه های آبیاری بارانی را فشار موجود در آبپاش، تغییرات فشار در سامانه، دبی(بده)، قطر خیس‌شده و فاصله آبپاشها، الگوی توزیع آب آبپاش، زاویه جت خروجی(پاشش)، سرعت و جهت باد، خصوصیات نفوذپذیری(ویژگی های تراوایی) خاک، شدت پخش آبپاش، و عوامل مدیریتی نظیر زمان آبیاری، کمبود رطوبت خاک در زمان آبیاری و نگهداری سامانه برشمردند. باوی و همکاران(۲۰۰۹) گزارش کردند که بازده کاربرد آب در سامانه های آبیاری بارانی قبل از هر چیز به وسیله میزان تلفات تبخیر و باد کنترل می‌شود. بازده واقعی آب در ربع پایین (AELQ) معرف بازده آب در داخل مزرعه بوده، که واقعیت عینی دارد. در طراحی روشهای آبیاری، جهت برآورد نیاز آبیاری، بازده کاربرد آب را به عنوان یک فراسنج فرضی در نظر گرفته، بر اساس آن نیاز آبیاری طرح را محاسبه می‌کنند. بازده بالقوه ربع پایین (PELQ) برای طراحی، همچنین مطابقت وضعیت سامانه با حالت مدیریت خوب، وقتی که عمق و زمان آبیاری بصورت مطلوب انتخاب شده‌اند، به کار می‌رود (بایزیدی، ۱۳۸۰). پایین‌بودن مقدار PELQ معمولاً در ارتباط با طراحی ناقص سامانه می‌باشد (الغباری، ۲۰۰۶)، لکن امکان عمدی‌بودن آن نیز به دلایل اقتصادی وجود دارد، در حالی که مقدار کم AELQ نشاندهنده مشکل مدیریت است و اختلاف AELQ و PELQ جنبه‌های مختلف این مشکل را بیان می‌نماید.

بایزیدی(۱۳۸۰) سامانه های آبیاری بارانی اجراشده در شهرستان قروه را مورد ارزیابی قرار داد. در این تحقیق، سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در چهار روستای شهرستان قروه از توابع استان کردستان مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که کلیه طرحها دارای بازده پایینی بوده، نیز پدیده کم‌آبیاری در آنها حاکم بوده است. مشکل اساسی در این طرحها عدم دقت لازم در طراحی و اجرا، همچنین به کاربردن وسایلی با کیفیت نامناسب ذکر شده است. فاریابی پس از ارزیابی۱۰ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان، به این نتیجه رسید که کلیه سامانه ها دارای بازده کاربرد پایین بودند و یکنواختی توزیع در آنها کمتر از مقادیر توصیه شده کلر و مریام می‌باشد.

هدف اصلی این تحقیق بررسی طرحهای آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجرا شده در شهرستان مهاباد بود. بدین منظور، از فراسنجهای مختلف ارزیابی شامل ضریب یکنواختی کریستین سن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد واقعی ربع پایین، بازده بالقوه ربع پایین، بازده کاربرد و بازده ترکیبی استفاده شده است.

---

[1]- Criddle et.al
[2] -Beale
[3]- Hore& Benami
[4] -Meriam & Keller
[5] -Montero et. al.

مواد و روشها

منطقه مورد بررسی، کهبخشی از اراضی شهرستان مهاباد در استان آذربایجانغربی است، جزء اقالیم سرد نیمه‌خشک با زمستانهای طولانی و تابستانهای نسبتاً گرم و خشک است، خلاصه‌ای از فراسنجهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی مهاباد در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی فراسنجهای هواشناسی ایستگاه هواشناسی مهاباد

ماههای سال	بارندگی ماهانه (mm)	میانگین رطوبت نسبی (٪)	درجه حرارت(دما) (^{o}C)			تبخیرتشتک کلاس الف (mm)
			میانگین کمینه	میانگین دما	میانگین بیشینه	
فروردین	۵۵	۶۱/۵	۳/۲	۹/۵	۱۵/۸	۸۹
اردیبهشت	۴۱/۸	۵۶/۳	۶/۹	۱۴/۳	۲۱/۶	۱۵۰
خرداد	۶	۵۱/۲	۱۰/۴	۱۹/۱	۲۷/۸	۲۲۰
تیر	-	۴۷	۱۴/۳	۲۳/۲	۳۲/۱	۲۷۱
مرداد	-	۴۳/۲	۱۵/۳	۲۴/۲	۳۳	۲۵۲
شهریور	۴/۱	۴۴/۵	۱۱/۶	۲۱/۱	۳۰/۶	۲۰۸
مهر	۱۲/۱	۵۱	۷/۱	۱۵/۸	۲۴/۵	۱۴۶
آبان	۲۷	۶۱/۱	۱/۷	۱۰/۴	۱۹/۱	۷۸
آذر	۴۵	۶۹/۵	-۳	۳/۹	۱۰/۸	۲۵
دی	۳۴/۳	۷۵/۴	-۷/۱	-۱/۵	۴/۱	۵
بهمن	۲۰/۱	۷۶/۱	-۶/۵	-۱	۴/۵	۳
اسفند	۸۵	۷۰/۳	-۲	۴/۱	۱۰/۱	۲۰
سالانه	**۳۳۰/۴**	**۵۸/۹**	**۶/۳**	**۱۱/۹**	**۱۹/۵**	**۱۴۶۷**

اکثر طرحهای آبیاری تحت فشار اجرا شده در منطقه، آبیاری بارانی و از نوع کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک می‌باشند. در این پژوهش سامانه های آبیاری ۳ مزرعه (جدول ۲) از ۳ روستای واقع در منطقه مهاباد از بین سامانه هایی که کمینه یک فصل زراعی از بهره برداری آنها سپری شده باشد، به طور کاملاً تصادفی، انتخاب گردیده و سه بار در طول فصل آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای هر کدام از این مزارع پرسشنامه‌ای شامل اطلاعات و داده‌های سامانه مزبور تهیه، و اطلاعات کلی شامل آب، ساعات و دور آبیاری، آرایش لوله‌ها و .... دریافت گردیدند.

برای تعیین شبکه‌بندی بین آبپاشها از ۴ عدد متر نواری ۵۰، ۲۵، ۱۰ و ۵ متری و ۸۰ عدد میخ چوبی ۷۰ سانتیمتری استفاده شد. میخهای چوبی به فواصل ۳×۳ متری با استفاده از قانون ۳-۴-۵ و تشکیل زاویه قائمه، شبکه‌بندی را مشخص ساختند. برای اندازه‌گیری دبی(بده) آبپاش از یک ظرف ۲۰ لیتری و دو قطعه شیلنگ ۲/۵ متری و یک کرونومتر(زمان سنج) استفاده گردید. به منظور اندازه‌گیری فشار سر آبپاشها، فشارسنج و لوله پیتو به کار گرفته شد، به طوریکه لوله پیتو متصل به فشارسنج در فاصله ۳ میلیمتری (یک هشتم اینچ) از نازل آبپاش قرار گیرد. برای اندازه‌گیری توزیع آب به وسیله آبپاشها و عمق آب نفوذ کرده به خاک از قوطیهای آلومینیومی با قطر ۹/۴۵ سانتیمتر و ارتفاع ۱۲ سانتیمتر در شبکه منظم استفاده گردید. پس از پایان مدت آزمایش (۱۲۰ دقیقه)، بلافاصله حجم آب جمع‌شده در قوطیها با استفاده از استوانه مدرج قرائت شد. برای اندازه‌گیری حجم آب داخل قوطیها از یک استوانه مدرج ۲۰۰ میلی لیتری استفاده شد. فراسنجهای اقلیمی از قبیل رطوبت نسبی، دما و سرعت باد در طول آزمایش اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین کمبود رطوبتی خاک (SMD)[1] در عمق توسعه

[1] -Soil moisture deficite

ریشه(ریشه گاه) از اگر استفاده گردید. با استفاده از سیلندرهای(استوانه های) استاندارد از لایه‌های ۲۵-۰، ۵۰-۲۵ و ۷۵-۵۰ سانتیمتری، نمونه‌برداری انجام شد. سپس بافت، درصد رطوبت، وزن مخصوص ظاهری و حد ظرفیت زراعی خاک[1] (FC) تعیین گردیدند. برای تعیین نفوذپذیری هر مزرعه از استوانه مضاعف استفاده شد. نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و کمبود رطوبت لایه‌های مختلف خاک و نیز برخی ویژگی های شیمیایی آنها و همچنین نتایج تجزیه شیمیایی آب مورد مصرف مزارع به ترتیب در جداول ۳، ۴ و ۵ ارائه شده اند.

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و کمبود رطوبت لایه‌های مختلف خاک مزارع.

مزرعه	عمق خاک (cm)	بافت خاک	درصد رطوبت وزنی		وزن مخصوص ظاهری $\rho_d(\frac{gr}{cm^3})$	کسر رطوبت(SMD) (mm)			نفوذپذیری نهایی $(\frac{mm}{hr})$
			θ_{mFC}	θ_{mpwp}		مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	
SA	۰-۲۵	L	۲۹/۱	۱۷/۳	۱/۴۲	۴۶	۴۹	۴۸	۱۵
	۲۵-۵۰	L	۳۱/۲	۱۶/۸	۱/۴۰				
	۵۰-۷۵	CLL	۳۲/۱	۱۸/۶	۱/۳۷				
MK	۰-۲۵	SCLL	۳۰/۱	۱۵/۷	۱/۴۱	۴۸	۵۰	۵۳	۲۱
	۲۵-۵۰	SCLL	۲۸/۲	۱۶/۶	۱/۳۸				
	۵۰-۷۵	CLL	۲۷/۳	۱۴/۱	۱/۳۶				
OF	۰-۲۵	SL	۱۷/۳	۱۱/۱	۱/۵۱	۴۷	۴۸	۵۰	۳۰
	۲۵-۵۰	SL	۱۹/۱	۱۰/۸	۱/۴۸				
	۵۰-۷۵	SCLL	۲۵/۱	۱۵/۲	۱/۴۱				

جدول ۴- برخی خصوصیات شیمیایی لایه‌های مختلف خاک مزارع.

مزرعه	عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	غلظت (meq/lit)		SAR
				$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Na^{+}	
SA	۰-۲۵	۱/۳۱	۷/۸۱	۳۹/۲	۰/۵۲	۰/۱۲
	۲۵-۵۰	۱/۱۲	۷/۹۳	۳۵/۱	۰/۴۱	۰/۱۰
	۵۰-۷۵	۱/۲۱	۷/۷۹	۳۲/۳	۰/۳۱	۰/۰۸
MK	۰-۲۵	۱/۰۲	۷/۷۱	۲۸/۱	۰/۲۱	۰/۰۶
	۲۵-۵۰	۱/۱۲	۷/۸۱	۳۰/۲	۰/۳۲	۰/۰۸
	۵۰-۷۵	۰/۹۲	۷/۹۱	۲۵/۱	۰/۲۸	۰/۰۸
OF	۰-۲۵	۱/۱	۷/۷۱	۲۸/۱	۰/۳۱	۰/۰۸
	۲۵-۵۰	۱/۱	۷/۷۶	۳۲/۶	۰/۲۶	۰/۰۶
	۵۰-۷۵	۱/۰	۷/۹۱	۳۰/۲	۰/۲۸	۰/۰۷

جدول ۵- نتایج تجزیه شیمیایی آب آبیاری مزارع مورد ارزیابی.

مزرعه	هدایت الکتریکی EC(dS/m)	اسیدیته pH	غلظت (meq/lit)		SAR	طبقه‌بندی ویلکوس
			Na^{+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$		
SA	۰/۵۲	۷/۶۱	۳/۶۱	۴/۴۱	۲/۴۳	C_2-S_1
MK	۰/۴۶	۷/۵۸	۰/۹۱	۳/۴۰	۰/۷۰	C_2-S_1
OF	۰/۴۱	۷/۲۰	۳/۲۱	۳/۹۰	۲/۲۹	C_2-S_1

[1]- Field capacity

با توجه به جداول ۳، ۴ و ۵ خاک مزارع SA، MK و OF به دلیل دارابودن مقادیر پایین هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم، در دسته خاکهای غیرشور و غیرقلیایی قرار می‌گیرند، همچنین، بر اساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک آمریکا، آب مزارع مذکور در طبقه C_2-S_1 قرار دارد.

فراسنجهای مورد ارزیابی در این پژوهش ضریب یکنواختی کریستین‌سن(CU)، یکنواختی توزیع آب در ربع پایین(DU)، بازده بالقوه کاربرد در ربع پایین(PELQ) و بازده کاربرد در ربع پایین (AELQ)، تلفات تبخیر و باد(WDEL)، تلفات نفوذ عمقی(DP)، بازده آبیاری(IE)، بازده کاربرد(AE) و بازده ترکیبی (EC) بوده است که معادلات آنها در ذیل آمده اند:

ضریب یکنواختی کریستین‌سن (CU):

$$CU = 100\left[1 - \frac{\sum |D_i - \overline{D}|}{\overline{D} \times n}\right] \quad (۱)$$

یکنواختی توزیع آب در ربع پایین(DU):

$$DU = \frac{D_q}{\overline{D}} \times 100 \quad (۲)$$

که در آنها، CU ضریب یکنواختی کریستین‌سن (٪)، DU یکنواختی توزیع(٪)، Di عمق آب هر کدام از قوطیهای نمونه‌برداری در اطراف آبپاش(mm)، $\overline{D}$ میانگین عمق آب در داخل قوطیها، D_q: میانگین عمق آب در یک چهارم قوطیهای نمونه‌گیری که کمترین عمق آب را دریافت کرده‌اند (mm) و n تعداد قوطیها می‌باشد.

به علت اختلاف فشار ناشی از شرایط هیدرولیکی لوله‌ها، معمولا مقادیر DU و CU در نقاط مختلف مزرعه باهم تفاوت دارند و برای نسبت‌دادن آنها به کل سامانه بایستی با استفاده از روابط زیر ضریب یکنواختی کریستین‌سن سامانه و یکنواختی توزیع آن را بدست می‌آید:

$$CUs = Cu\left[\frac{1 + (\frac{P\min}{Pmean})^{0.5}}{2}\right] \quad (۳)$$

$$DUs = Du\left[\frac{1 + 3(\frac{P\min}{Pmean})^{0.5}}{4}\right] \quad (۴)$$

که در آنها Pmin و Pmean به ترتیب فشار کمینه و میانگین به دست‌آمده از آزمون فشار در کل سامانه، و CU_S و DU_S ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع سامانه می‌باشند (بایزدی، ۱۳۸۰).

بازده واقعی آب در ربع پایین (AELQ):

$$AELQ = \frac{D_q}{D_r} \times 100 \quad (۵)$$

بازده بالقوه در ربع پایین (PELQ):

$$PELQ = \frac{Z_{lq,MAD}}{D_{MAD}} \times 100 \quad (۶)$$

که در آنها D_r میانگین عمق آب کاربردی یا میانگین عمق ناخالص آبیاری اندازه‌گیری‌شده در سر آبپاش (mm)، $Z_{lq,MAD}$ میانگین عمق آب نفوذیافته در ربع پایین (mm) است. زمانی که برابر SMD باشد، و D_{MAD} میانگین عمق آب کاربردی (mm) است. وقتی که SMD=MAD باشد، که MAD کمبود مدیریتی مجاز (mm)است. زمانی که میانگین عمق نفوذیافته در ربع پایین اراضی بیشتر از کمبود رطوبت خاک[1] (SMD) باشد، رابطه AELQ در صورت کسر به جای D_q، با SMD قرار مر گیرد.

از آن جا که در داخل سامانه آبیاری همواره اختلاف فشاری به علت افت اصطکاک و شرایط توپوگرافی(پستی و بلندی) زمین وجود دارد، لذا بایستی مقادیر AELQ و PELQ به دست‌آمده از آزمایشها را با توجه به اختلاف فشار موجود در داخل سامانه اصلاح کرد تا بتوان آنها را به کل سامانه تعمیم داد. به همین منظور کلر و مریام (۱۹۸۷) ضریبی را بنام عامل کاهش بازده به صورت زیر در نظر گرفتند:

$$ER = \frac{0.2 \times (P\max - P\min)}{Pmean} \quad (۷)$$

که با استفاده از آن AELQ و PELQ اصلاح می‌گردند.

$$PELQ_S = PELQ(1-ER) \quad (۸)$$

$$AELQ_S = AELQ(1-ER) \quad (۹)$$

تلفات تبخیر و بادبردگی:

$$WDEL = (1 - \frac{\overline{D}}{D_r}) \times 100 \quad (۱۰)$$

بازده پاشش:

[1] -Soil Moisture Deficit

$$IE = \frac{\overline{D}}{D_r} \times 100 \quad (۱۱)$$

تلفات نفوذ عمقی:

$$DP = \frac{(\overline{D}_0 - SMD) \times \frac{N_1}{N}}{D_r} \times 100 \quad (۱۲)$$

که در آن N_1 و $\overline{D}_0$ به ترتیب شمار و میانگین عمق آب جمع‌شده در قوطیهایی که آب موجود در آنها بیشتر از SMD بوده است، و N تعداد کل قوطیها می‌باشد.

بازده کاربرد (عمق آب نفوذیافته برای جبران SMD، تقسیم بر عمق ناخالص آب آبیاری اندازه‌گیری شده در سر نازل) از روابط زیر به بدست می‌آید:

بازده کاربرد:

$$AE = (100 - WDEL - DP) \quad (۱۳)$$

بازده ترکیبی(EC):

$$E_C = \frac{(100 - DP)(100 - WDEL)}{100} \quad (۱۴)$$

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایشهای مزرعه‌ای و محاسبه فراسنجهای ارزیابی بر اساس روابط ارائه‌شده، فراسنجهای مزبور برای هر یک از سامانه ها در سه مرحله به صورت جداگانه محاسبه و به شرح زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مقادیر بعضی از فراسنجهای هواشناسی مؤثر بر ارزیابی و نیز مقادیر دبی(بده) و فشار در مراحل مختلف ارزیابی سامانه های آبیاری به ترتیب در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده اند.

جدول ۶- فراسنجهای درجه حرارت(دما)، رطوبت نسبی و سرعت باد در سامانه های مورد ارزیابی.

مزرعه	مرحله ارزیابی	دما ($^{\circ}C$)	رطوبت نسبی٪	سرعت باد(m/s)
SA	۱	۱۲/۱	۲۳	۱۱/۲
	۲	۱۶/۲	۲۰	۷/۰
	۳	۲۱/۴	۷	۳/۵
	میانگین	۱۶/۶	۱۷	۷/۲
MK	۱	۱۴/۳	۲۰	۷/۰
	۲	۱۷/۰	۱۹	۷/۵
	۳	۱۶/۹	۲۱	۱۸/۲
	میانگین	۱۶/۱	۲۰	۱۰/۹
OF	۱	۱۳/۷	۱۸	۶۱
	۲	۱۷/۶	۱۹	۷/۳
	۳	۱۶/۲	۱۷	۸/۱
	میانگین	۱۵/۸	۱۸	۷/۲
میانگین کل		**۱۶/۲**	**۱۸**	**۸/۴**

جدول ۷- مقادیر دبی(بده) و فشار در سامانه های مورد ارزیابی.

سامانه آبیاری	مرحله	دبی میانگین(L/S)	فشار کمینه (psi)	فشار میانگین (psi)	فشار حداکثر (psi)	فشار کمینه- فشار حداکثر فشار میانگین ٪
SA	۱	۲/۳۷	۳۰	۴۱	۵۶	۶۳/۴
	۲	۲/۴۵	۳۲	۴۴	۵۸	۵۹/۱
	۳	۲/۴۲	۳۱	۴۲	۵۷	۶۱/۹
	میانگین	۲/۴۱	۳۱	۴۲	۵۷	۶۱/۴
MK	۱	۲/۹۵	۴۵	۴۹	۵۳	۱۶/۳
	۲	۳/۰۲	۴۶	۵۰	۵۳	۱۴/۰
	۳	۳/۱۱	۴۸	۵۱	۵۴	۱۱/۸
	میانگین	۳/۰۳	۴۶	۵۰	۵۳	۱۴/۰
OF	۱	۲/۳۶	۳۹	۴۲	۵۳	۳۳/۳
	۲	۲/۴۱	۴۰	۴۲	۵۴	۳۳/۳
	۳	۲/۳۷	۳۸	۴۱	۵۲	۳۴/۱
	میانگین	۲/۳۸	۳۹	۴۲	۵۳	۳۳/۶
میانگین کل		**۲/۶۱**	**۳۸/۸**	**۴۴/۷**	**۵۴/۴**	**۳۶/۴**

با توجه به جدول ۷، فشار میانگین و دبی(بده) میانگین در سامانه های ارزیابی در این پژوهش ۴۵psi و ۲/۶ لیتر بر ثانیه تعیین گردیدند. گفتنی است که در سامانه های SA و OF فشار میانگین نامناسب و کمتر از فشار طراحی سامانه ها بودند، همچنین اختلاف فشار در نقاط مختلف سامانه های مزبور بیشتر ولی در سامانه MK، فشار میانگین مناسب و اختلاف فشار در نقاط مختلف کمتر از حد مجاز بوده است. بطورکلی، به علل طراحی ناقص و اجرای نادرست و بهره‌برداری ضعیف از سامانه ها، فشار نامناسب بوده است.

ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع، ضریب یکنواختی سامانه و یکنواختی توزیع سامانه که با استفاده از روابط ارائه‌شده و آزمایشهای متعدد به دست‌آمده، در جدول ۸ ارائه شده اند.

جدول ۸- مقادیر ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در سامانه های مورد ارزیابی.

سامانه آبیاری	مرحله	CU	DU	CUs	DUs
SA	۱	۴۵/۲	۳۸/۹	۴۱/۹	۳۴/۷
	۲	۶۶/۱	۵۲/۲	۶۱/۲	۴۶/۴
	۳	۷۳/۵	۶۳/۱	۶۸/۳	۵۶/۴
	میانگین	۶۱/۶	۵۱/۴	۵۷/۲	۴۵/۸
MK	۱	۷۶/۹	۶۳/۲	۷۵/۳	۶۱/۲
	۲	۷۴/۲	۵۹/۲	۷۲/۷	۵۷/۴
	۳	۷۱/۴	۵۳/۱	۷۰/۳	۵۱/۹
	میانگین	۷۴/۲	۵۸/۵	۷۲/۸	۵۶/۸
OF	۱	۷۲/۹	۵۷/۱	۷۱/۶	۵۵/۵
	۲	۷۰/۱	۵۵/۳	۶۹/۳	۵۴/۳
	۳	۶۸/۳	۵۴/۰	۶۷/۰	۵۲/۵
	میانگین	۷۰/۴	۵۵/۵	۶۹/۳	۵۴/۱
میانگین کل		**۶۸/۷**	**۵۵/۱**	**۶۶/۴**	**۵۲/۳**

با توجه به جدول مزبور میانگین کل ضریب یکنواختی کریستین‌سن و یکنواختی توزیع سامانه در این پژوهش ۶۶/۴٪ و ۵۲/۲٪ بوده اند. این مقادیر در تمام سامانه های ارزیابی‌شده، کمتر از مقادیر پیشنهادی مریام و کلر می باشند. گفتنی است که در سامانه آبیاری MK، که فشار کارکرد مناسب و درصد اختلاف فشار کمتر از حد مجاز بوده، ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع سامانه مزبور بیشتر از سامانه های دیگر (SA و OF) بوده است. ابراهیمی (۱۳۸۵) و فاریابی (۱۳۸۸) نیز نتایج مشابهی به دست آورده‌اند. به جز فشار، فراسنج دیگری که در توزیع یکنواختی آب در مزرعه تأثیر زیادی داشته، سرعت باد می‌باشد، به طوری که در تمامی سامانه ها، در مراحلی که سرعت باد بیشتر بوده، ضرایب یکنواختی کریستین‌سن و یکنواختی توزیع کمتر از مراحلی بوده که سرعت باد کمتر بوده است، پیامد افزایش سرعت باد، کاهش ضریب یکنواختی کریستین‌سن و یکنواختی توزیع می باشد. پژوهشگرانی چون اکبری و رحیم‌زادگان(۱۳۷۵) و بایزیدی(۱۳۸۰) نیز نتایج مشابهی به دست آورده‌اند. از آن جا که میانگین ارتفاع آبپاشها، با درنظرگرفتن شیر خودکار در این سامانه ها، از سطح زمین حدود ۱/۴۵ متر بوده است، می توان با کاهش ۳۰ سانتیمتری ارتفاع پایه رایزرها(آبپاشها)، یکنواختی توزیع آب را تا حدی افزایش داد، چه، تغییرات سرعت باد نسبت به ارتفاع به صورت لگاریتمی بوده و با افزایش ارتفاع، سرعت باد به شدت افزایش می‌یابد.

در این پژوهش مشاهده گردید که ضرایب یکنواختی کریستین‌سن و یکنواختی توزیع همبستگی خوبی دارند به طوری که ضریب تبیین در سامانه های SA، MK و OF به ترتیب ۰/۹۵۶، ۰/۹۸۸ و ۰/۹۹۹ و بطور میانگین در کلیه سامانه ها ۰/۹۸۱ بوده است. ضمناً تغییرات DU نسبت به CU در سامانه های SA، MK و OF به ترتیب به صورت روابط ۱۵، ۱۶ و ۱۷ به دست آمده اند:

$$DU = 0.8074CU + 1.6662 \quad (15)$$

$$DU = 1.8385CU - 77.854 \quad (16)$$

$$DU = 0.6712CU + 8.1907 \quad (17)$$

همان طور که بیان گردید، ضریب بازده بالقوه آب در ربع پایین، بیانگر بازده سامانه موجود در شرایط بهره‌برداری مناسب، و ضریب بازده کاربرد آب در ربع پایین، شاخص نحوه بهره‌برداری سامانه در وضع موجود می‌باشند، که بر اساس روابط ارائه‌شده و نتایج آزمایشهای مزرعه‌ای مقادیر فراسنجهای مذکور به صورت ارائه‌شده در جدول ۹ بدست آمده اند.

جدول ۹- بازده بالقوه(توانی) و بازده کاربرد آب در ربع پایین در سامانه های مورد ارزیابی.

سامانه آبیاری	مرحله	AELQ (%)	PELQ (%)	$AELQ_S$ (%)	$PELQ_S$ (%)
SA	۱	۳۵/۴	۳۵/۴	۳۰/۹	۳۰/۹
	۲	۴۶/۸	۴۶/۸	۴۱/۲	۴۱/۲
	۳	۵۳/۹	۵۳/۹	۴۷/۲	۴۷/۲
	میانگین	۴۵/۳	۴۵/۳	۳۹/۸	۳۹/۸
MK	۱	۶۴/۱	۶۴/۱	۶۲/۰	۶۲/۰
	۲	۵۳/۲	۵۳/۲	۵۱/۷	۵۱/۷
	۳	۳۸/۹	۳۸/۹	۳۸/۰	۳۸/۰
	میانگین	۵۲/۱	۵۲/۱	۵۰/۶	۵۰/۶
OF	۱	۵۲/۴	۵۲/۴	۴۸/۹	۴۸/۹
	۲	۵۰/۳	۵۰/۳	۴۶/۹	۴۶/۹
	۳	۴۸/۴	۴۸/۴	۴۵/۱	۴۵/۱
	میانگین	۵۰/۴	۵۰/۴	۴۷/۰	۴۷/۰
میانگین کل		**۴۸/۴**	**۴۸/۴**	**۴۴/۹**	**۴۴/۹**

میانگین بازده کاربرد و بازده بالقوه ربع پایین در کلیه سامانه های مورد ارزیابی در این تحقیق ۴۵/۸٪ بوده است.به علت پایین‌بودن یکنواختی توزیع آب، و نامناسب بودن فشار و نیز طراحی و اجرای نامناسب و بهره‌برداری نادرست، در تمامی سامانه ها و در تمامی مراحل ارزیابی، بازدههای بالقوه و کاربرد آب در ربع پایین برابر و کم بودند، که علت اصلی آن کمتربودن عمق میانگین آب در کمترین ربع نسبت به کمبود رطوبت خاک (SMD) می‌باشد. بدین معنی که کم آبیاری صورت گرفته و کیفیت آبیاری کم بوده است، در هیچ کدام از مراحل ارزیابی، آبیاری بطورکامل صورت نگرفته است.

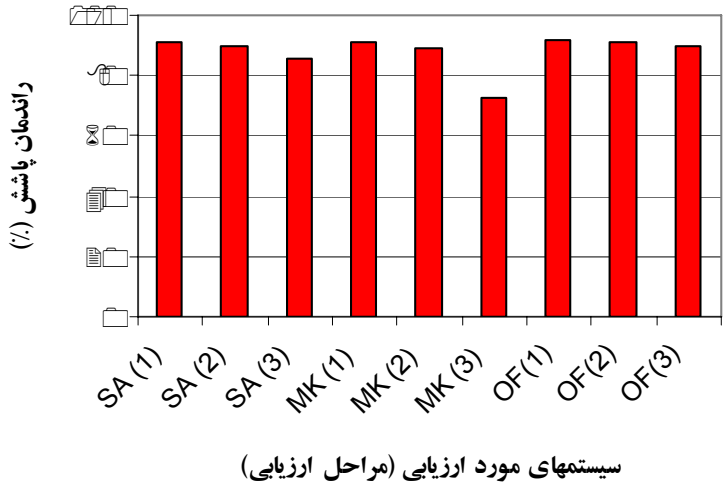
ضمناً به علت اختلاف فشار موجود در سامانه، بازده بالقوه و بازده کاربرد ربع پایین در سامانه های SA و OF به ترتیب ۵/۶ و۳/۴ درصد نسبت به قطعه آزمایشی کاهش داشته، ولی به علت کم‌بودن اختلاف فشار موجود در سامانه MK نسبت به حد مجاز، مقادیر مذکور تنها ۱/۴ درصد نسبت به قطعه آزمایشی کاهش داشته است.

بر اساس روابط ارایه‌شده و مشاهدات مزرعه‌ای، فراسنجهای تلفات تبخیر و بادبردگی و تلفات نفوذ عمقی محاسبه و نتایج آن در جدول ۱۰ ارائه شده اند.

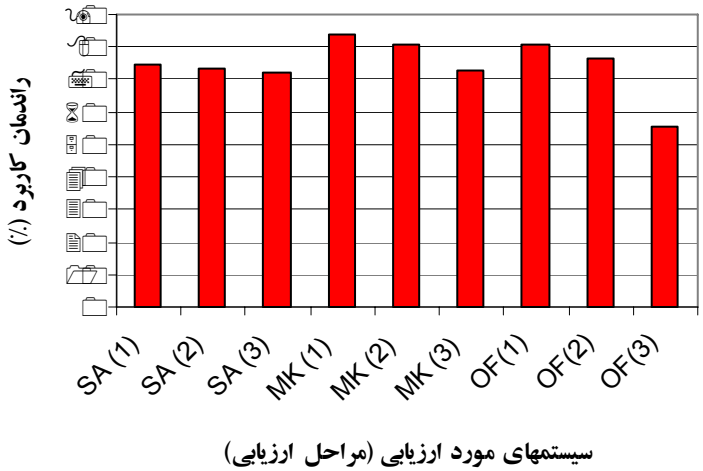
جدول ۱۰- تلفات آبیاری در سامانه های مورد ارزیابی.

سامانه آبیاری	مرحله	تلفات تبخیر %	تلفات بادبردگی %	تلفات تبخیر و بادبردگی WDEL%	تلفات نفوذ عمقی DP%
SA	۱	۶/۱	۳	۹/۱	۱۶/۲
	۲	۸/۲	۲/۲	۱۰/۴	۱۶/۴
	۳	۱۲/۸	۱/۸	۱۴/۶	۱۳/۱
	میانگین	۹	۲/۳	۱۱/۴	۱۵/۲
MK	۱	۶/۷	۲/۵	۹/۲	۷/۲
	۲	۶/۹	۴/۴	۱۱/۳	۸/۱
	۳	۷/۱	۲۰/۴	۲۷/۵	۰/۰
	میانگین	۶/۹	۹/۱	۱۶/۰	۵/۱
OF	۱	۴/۱	۴/۱	۸/۲	۱۱/۳
	۲	۵/۳	۳/۸	۹/۱	۱۴/۲
	۳	۵/۱	۵/۲	۱۰/۳	۳۴/۱
	میانگین	۴/۸	۴/۴	۹/۲	۱۹/۹
میانگین کل		**۶/۹**	**۵/۳**	**۱۲/۲**	**۱۳/۴**

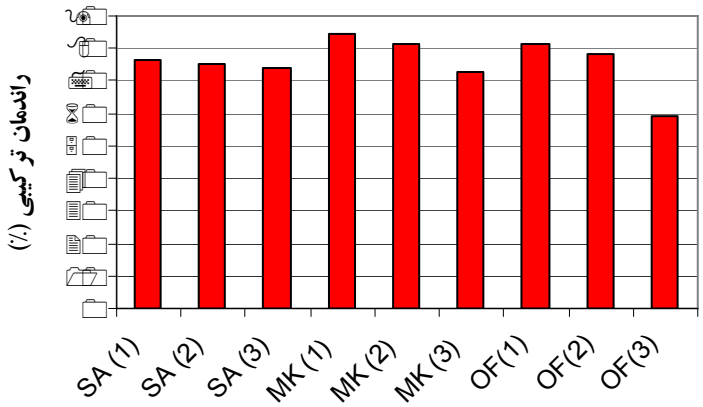
همچنین، نتایج مربوط به بازده پاشش، بازده کـاربرد و بازده ترکیبی به ترتیب در شکلهای ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده اند.



شکل ۱- بازده(راندمان) پاشش در سامانه های SA، MK و OF در مراحل مختلف ارزیابی (۱، ۲ و ۳)



شکل ۲- بازده(راندمان) کاربرد در سامانه های SA، MK و OF در مراحل مختلف ارزیابی (۱، ۲ و ۳)



شکل ۳- بازده(راندمان) ترکیبی در سامانه های SA، MK و OF در مراحل مختلف ارزیابی (۱، ۲ و ۳)

مابه‌التفاوت مقدار ناخالص آب آبیاری (اندازه‌گیری شده در سر نازل) و مقدار میانگین آب جمع‌شده در قوطیهای نمونه‌گیری، تلفات آب به صورت تبخیر و بادبردگی (WDEL) می‌باشد. به طور کلی با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۱۰ تلفات بادبردگی در مراحلی که سرعت باد زیاد بوده، افزایش یافته، نیز در مراحلی که دما بالا بوده، تبخیر افزایش داشته است. مجموع تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه های SA، MK و OF به ترتیب ۱۱/۴، ۱۶ و ۹/۲ درصد بوده است، بیشترین مقدار تلفات مربوط به سامانه MK بود، میانگین سرعت باد نیز در این سامانه بیشتر از دو سامانه دیگر بوده است. میانگین نفوذ عمقی در سامانه های SA، MK و OF به ترتیب ۱۵/۲، ۵/۱ و ۱۹/۹ درصد بوده است. در اغلب مراحل ارزیابی این سامانه ها (تمامی مراحل به جز مرحله سوم سامانه MK)، نفوذ عمقی وجود داشته است (در مرحله سوم ارزیابی سامانه MK، به علت کمتر بودن نصف

پایین آب نسبت به کمبود رطوبتی خاک، نفوذ عمقی صفر بوده است). بالابودن تلفات نفوذ عمقی در این سامانه ها می‌تواند به علت پایین‌بودن یکنواختی توزیع آب، کم بودن هزینه آب و برنامه‌ریزی نامناسب باشد. میانگین تلفات تبخیر و بادبردگی در این سامانه ها ۱۲/۲، میانگین تلفات نفوذ عمقی ۱۳/۴ و مجموع آنها ۲۵/۶ درصد بوده است.

بازده پاشش، که مبین تفاوت مقدار ناخالص آب آبیاری و مقدار میانگین آب رسیده به سطح زمین می‌باشد در سامانه های SA، MK و OF به ترتیب ۸۸/۶، ۸۴/۰ و ۹۰/۸ و بطور میانگین در کل سامانه های ارزیابی ۸۷/۸ درصد بوده است. بازده کاربرد (عمق آب ذخیره‌شده در منطقه توسعه ریشه(ریشه گاه) به عمق ناخالص آب آبیاری) در سامانه های SA، MK و OF به ترتیب ۷۳/۴، ۷۸/۹ و ۷۰/۹ و بطور میانگین ۷۴/۴ درصد بوده است. بازده ترکیبی نیز در این سامانه ها بترتیب ۷۵/۱، ۷۹/۴ و ۷۲/۸ و بطور میانگین ۷۵/۸ درصد بوده است.

نتیجه‌گیری

بازده کاربرد سامانه هایSA, MK و OF به ترتیب ۷۳,۴، ۷۸,۹ و ۷۰,۹ درصد و میانگین هر سه آنها ۷۴,۴ درصد بوده است. این بازده برای چنین سامانه هایی رضایت بخش نبوده و بهتر است ارتقا یابد. از جمله مهمترین عوامل کاهنده بازده آبیاری در منطقه، می‌توان به مشکلات طراحی، استفاده از لوازمی با کیفیت پایین، مشکلات اجرای سامانه ها، عوامل محدودکننده اقلیمی مثل باد، فرهنگ نامناسب استفاده از سامانه های جدید آبیاری و نظارت نامناسب بر اجرا و بهره‌برداری ضعیف از این سامانه ها را نام برد. بررسی رابطه فراسنجهای ارزیابی با عملکرد محصول، نیز تأثیر کاهش فاصله آبپاشها و کوتاه کردن پایه آنها بر فراسنجهای ارزیابی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

۱- ابراهیمی، ح. ۱۳۸۵. ارزیابی عملکرد روش‌های آبیاری تحت فشار در استان خراسان. علوم کشاورزی. ۱۲(۳): ۵۷۹-۵۸۹.

۲- اکبری، م. و ر. رحیم زادگان. ۱۳۷۵. اثرات باد و خصوصیات هیدرولیکی سامانه آبیاری بارانی بر یکنواختی توزیع آب. گزارش دومین کنگره مسائل آب و خاک کشور.

۳- بایزیدی، م. ۱۳۸۰. ارزیابی سامانه های آبیاری بارانی در شهرستان قروه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۴- سهرابی، ت. و ر. اصلی‌منش. ۱۳۷۷. ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری بارانی عقربه‌ای در کرج. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۲(۲): ۱-۱۴.

۵- فاریابی، ا. ۱۳۸۸. بررسی و ارزیابی فنی سامانه های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجراشده در دشت دهگلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کردستان.

۶- قاسم‌زاده مجاوری، ف .۱۳۷۵ . ارزیابی روشهای مختلف آبیاری در مزرعه. انتشارات آستان قدس رضوی.

7- Al- Ghobari, H. M. 2006. Effect of maintenance on the performance of sprinkler irrigation systems and irrigation water conservation. Food Science & Agricultural Resources Center, King Saud Univ., Res. Bult., No. (141): 5-19.

8- Bavi, A., H. A. Kashkuli, S. Broomand, A. Naseri, and M. Albaji. 2009. Evaporation losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. J. Appl. Sci. 9(3): 597-600.

9- De Juan, J. A., J. F. Ortega, N. Alvarez, and J. M. Tarjuelo. 2002. Irrigation advisory service for farmers (SIAR) in castilla la mancha: Actions and limitations. Workshop organized by FAO- ICID. Montreal, Canada. 16pp.

10- De Wrachien, D., and G. Lorenzini, G. 2006. Modelling jet flow and losses in sprinkler irrigation: Overview and perspective of a new approach. Biosys. Engin. 94(2): 297-309.

11- Lorenzini, G. 2002. Air temperature effect on spray evaporation in sprinkler irrigation. Irrig. Drain. 51: 301- 309.

12- Montazar, A., and M. Moridnejad. 2008. Influence of wind and bed slope on water and soil moisture distribution in solid-set sprinkler systems. Irrig. Drain. 57: 175-185.

13- Pereira, L. S., T. Oweis, and A. Zairi. 2002. Irrigation management under water scarcity. Agric. Water Manage. 57: 175-206.

14- Playa'n, E., R. Salvador, J. M. Faci, N. Zapata, A. Martinez- Cob, and I. Sachez. 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. Agric. Water Manage. 76: 139-159.

15- Zapata, N., E. Playa'n, A. Martinez-Cob, I. Sanchez, J. M. Faci, and S. Lecina. 2007. From on farm solid-set sprinkler irrigation design to

collective irrigation network design in windy areas. Agric. Water Manage. 87: 187-199.