

## ارزیابی فنی سیستم‌های مختلف آبیاری بارانی در شرایط مزرعه

نادر نادری<sup>۱\*</sup>، علی قدمی فیروزآبادی و محمود فرومدی

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

[Naderi7367@yahoo.com](mailto:Naderi7367@yahoo.com)

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.

[aghadami@gmail.com](mailto:aghadami@gmail.com)

کارشناس، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

[mforumadi@yahoo.com](mailto:mforumadi@yahoo.com)

### چکیده

استان سمنان به خاطر موقعیت جغرافیایی، اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی با محدودیت‌های آب و خاک مواجه است. روش‌های آبیاری تحت فشار به عنوان یکی از گزینه‌های بهبود بهره‌وری مصرف آب در استان سمنان توسعه یافته است. این تحقیق با هدف ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی در استان سمنان انجام شد. به این منظور در این پژوهش تعداد شش طرح از طرح‌های آبیاری بارانی ویل موو، کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک، و سنتریوت در چند مزرعه مورد ارزیابی فنی قرار گرفت. مقادیر راندمان پتانسیل کاربرد آب (PELQ)، راندمان واقعی کاربرد آب (AELQ)، ضریب یکنواختی (CU) و یکنواختی توزیع (DU) در سامانه‌های ویل موو به ترتیب برابر ۴۰/۷، ۲۹/۶، ۵۷/۲ و ۵۲/۷ درصد و در سامانه‌های کلاسیک ثابت ۵۴/۸، ۵۴/۸، ۷۵ و ۶۵ درصد به دست آمد. در روش سنتریوت نیز مقادیر فوق به ترتیب برابر ۸۳، ۷۹/۶، ۹۴/۵ و ۹۱ درصد بود. ملاحظه شد این پارامترها در سامانه سنتریوت بهترین وضعیت را داشتند. طراحی خوب، وجود آبیاش‌های مناسب و نو و پایین بودن ارتفاع آبیاش‌ها در دستگاه سنتریوت از عوامل عملکرد بهتر این سامانه بود. پس از آن، روش کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک از وضعیت بهتری برخوردار بود. پایین بودن ارتفاع آبیاش‌ها و وجود فشار مناسب در سامانه باعث افزایش کارایی آن در مزرعه شماره چهار شده بود در حالی که در مزرعه شماره پنج فاصله نامناسب آبیاش‌ها باعث کاهش کارایی روش کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک شده بود. در مزارع دیگر، فشار کارکرد کم آبیاش‌ها، کاهش آبدهی و شعاع پاشش آبیاش‌ها نسبت به مقادیر اسمی و اختلاف فشار زیاد در سامانه، کارایی ویل موو را کاهش داده بود.

واژه‌های کلیدی: راندمان آبیاری، سنتریوت، طراحی آبیاری بارانی، ویل موو، یکنواختی توزیع

۱- آدرس نویسنده مسئول: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) - بخش تحقیقات فنی و مهندسی

\*- دریافت: تیر ۱۳۹۶ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۷

## مقدمه

به دلیل محدودیت منابع آب استفاده صحیح و با کارایی بالای آن اهمیت به‌سزایی دارد. این امر مهم با طراحی، اجرا، نگهداری و مدیریت مناسب سامانه‌های آبیاری میسر می‌شود. به این منظور سامانه‌های آبیاری که آب را به موثرترین شیوه ممکن جهت جلوگیری از تلفات به کار ببرند، مورد نیاز می‌باشند. در این راستا استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار از جمله بارانی پیشنهاد می‌گردد. آبیاری تحت فشار یکی از نتایج پیشرفت‌های تکنولوژی برای جلوگیری از هدررفت آب و افزایش راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی می‌باشد. اصولاً هر پروژه آبیاری بعد از طراحی و اجرا باید مورد بررسی قرار گرفته کارایی و عملکرد آن بررسی شود. ارزیابی روش آبیاری شامل تعیین راندمان واقعی کاربرد آب و بررسی روش مدیریت مزرعه و به دست آوردن حداکثر عملکرد واقعی سیستم می‌باشد. در صورت ضعف در مدیریت مزرعه و پایین بودن راندمان واقعی سیستم، باید با اتخاذ تدابیری به پتانسیل عملکرد واقعی سیستم رسید (کلر و بلایزنر، ۱۹۹۰). مریام و کلر (۱۹۷۸) یکنواختی توزیع<sup>۲</sup> (DU)، راندمان کاربرد آب در ربع پایین<sup>۳</sup> (AELQ)، راندمان پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین<sup>۴</sup> (PELQ) و ضریب یکنواختی<sup>۵</sup> (CU) را به‌عنوان عمده‌ترین پارامترها در ارزیابی سامانه‌های بارانی معرفی نمودند.

ضریب یکنواختی کریستیانسن شاخص مناسبی برای نشان دادن یکنواختی توزیع آب در سامانه آبیاری می‌باشد. یکنواختی توزیع، شاخصی است که میزان یکنواختی کاربرد آب در سطح مزرعه را تعیین می‌کند. AELQ چگونگی بهره‌برداری از یک سامانه اجرا شده را نشان می‌دهد. PELQ بیانگر آن است که سامانه موجود در شرایط بهره‌برداری مناسب چگونه عمل می‌کند مقادیر

پایین PELQ می‌تواند به دو دلیل یکی طراحی و اجرای نادرست و دیگری مدیریت بهره‌برداری غیرصحیح از سامانه باشد. مدیریت نادرست و ضعیف مهم‌ترین عامل اثرگذار بر روی کم بودن مقدار PELQ است. به عنوان مثال افت فشار و کاهش دبی خروجی از نازل‌ها باعث کاهش راندمان و یکنواختی می‌شود. آبیاری زمانی بطور یکنواخت صورت می‌گیرد که مقدار آب داده شده به خاک در قسمت‌های مختلف مزرعه چندان متفاوت نباشد. به منظور استفاده بهینه از آب قابل دسترس، توزیع یکنواخت تر آب ضروری است (کلر و بلایزنر، ۱۹۹۰). یکنواختی بالا می‌تواند در بهبود عملکرد و کیفیت محصول عامل مهمی باشد به‌خصوص برای محصولات با ارزش بالا که تغییرات جزئی در یکنواختی آبیاری می‌تواند باعث کاهش عملکرد و کیفیت محصول شود.

یک سیستم آبیاری با یکنواختی خوب سبب صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود زیرا از آبیاری بیش از حد قسمت‌هایی از مزرعه جلوگیری می‌شود (لی، ۲۰۰۳). یکنواختی پایین در سیستم آبیاری بارانی به عوامل متعددی بستگی دارد عواملی نظیر: انتخاب قطرهای ناکافی و نامناسب برای لوله‌های آبرسان، فشار خیلی پایین یا خیلی بالا، انتخاب نازل‌ها و آبپاش‌های ناکافی و نامناسب، هم پوشانی ناکافی قطرات، اثرات باد روی توزیع آب، تغییرات در اجزای سیستم به مرور زمان مانند تغییرات در راندمان پمپ، تنظیم فشار یا اندازه نازل و گرفتگی نازل (هامان و ایگار، ۲۰۰۵). برادران هزاوه و همکاران (۱۳۸۵) تعداد نه سیستم آبیاری بارانی (کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و ویل موو) را در شهرستان اراک مورد ارزیابی قرار دادند. در پایان نتیجه‌گیری شد مشکلات اصلی طرح-های آبیاری بارانی عدم دقت در طراحی و اجرای آنها بود که از جمله می‌توان به پایین بودن یکنواختی توزیع آبپاش‌ها، نامناسب بودن فشار و توزیع غیر یکنواخت آن، فواصل نامناسب آبپاش‌ها، طول نامناسب لوله‌های جانبی اشاره نمود. همچنین عدم مدیریت و نگهداری صحیح از سامانه‌ها و به کار بردن وسایل با کیفیت نامناسب از

2 - Distribution Uniformity

3 - Application Efficiency of Low Quarter

4 - Potential Efficiency of Low Quarter

5 - Uniformity Christiansen's Coefficient

نتایج نشان داد با کاهش زمان توقف دستگاه، عملکرد سیستم بهبود می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت باد یکنواختی پخش سیستم کاهش یافت (اوزا و همکاران، ۲۰۱۵).

اشرف و همکاران (۱۳۹۴) سیستم آبیاری بارانی دورانی و کلاسیک ثابت با آپاش متحرک را در دانشگاه تهران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آپاش متحرک با ضریب یکنواختی ۶۵/۵ درصد و راندمان پتانسیل ربع پایین ۴۷/۵ درصد نسبت به سیستم دورانی عملکرد پایین‌تری داشت. نتایج همچنین نشان داد آبیاری بارانی کلاسیک بیشترین حساسیت را به وزش باد داشت و ضریب یکنواختی آن پایین بود. معروف سی و سه مرده و بایزیدی (۱۳۹۰) سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجرا شده در منطقه مهاباد را ارزیابی نمودند. ملاحظه شد یکی از دلایل اصلی پایین بودن یکنواختی توزیع و بازده آبیاری در این سامانه‌ها سرعت باد بالا در منطقه و ضعف طراحی بوده است تارجولو و همکاران (۲۰۰۰) مدلی را برای تخمین افت ضریب یکنواختی ناشی از تبخیر و بادزدگی در شرایط نیمه خشک ارائه نمودند که عواملی شامل نوع آپاش، ترکیب نازل، کمبود فشار بخار و سرعت باد در آن اثر داشتند و دریافتند که CU با افزایش باد تا ۲۰ کیلومتر بر ساعت به صورت خطی کاهش یافته و از آن به بعد، کاهش بیشتری دارد. همچنین سمروود و سل‌کر (۲۰۰۱) توزیع نرمال را برای توزیع آب در آبیاری بارانی به صورت تحلیلی حل نمودند و با بررسی خطاهای موجود در این تحلیل نتیجه گرفتند که به کار بردن توزیع نرمال برای آبیاری بارانی زمانی مناسب است که کفایت کمتر از ۹۵ درصد و ضریب یکنواختی کریستین سن کمتر از ۹۸ درصد باشد. استامبولی و همکاران (۲۰۱۳) مقدار تلفات تبخیر و باد را در سیستم کلاسیک ثابت در منطقه‌ای نیمه خشک در اسپانیا بررسی کردند. مقدار متوسط تلفات تبخیر و باد را برای سیستم کلاسیک ثابت در طول روز و شب به ترتیب برابر ۱۵/۴ و ۸/۵ به دست آوردند. مولایی

مشکلات موجود در این سامانه‌ها بوده است. در تحقیقی شش سیستم آبیاری بارانی کلاسیک و ویل مو در منطقه اصفهان مورد بررسی قرار گرفت و راندمان کاربرد در مزارع بین ۱۸ تا ۷۰ درصد و متوسط راندمان واقعی کاربرد ۵۱ درصد به دست آمد. در وضعیت هوای آرام (سرعت باد کمتر از سه متر بر ثانیه) برای سیستم ویل مو و کلاسیک به ترتیب متوسط ضریب یکنواختی توزیع آب در ربع پایین ۷۵ و ۵۴ درصد تعیین گردید. در شرایط باد متوسط (سرعت باد از سه تا هشت متر بر ثانیه) و بافت خاک سنگین عملکرد سیستم کلاسیک بهتر از ویل مو به دست آمد.

در اکثر موارد راندمان پتانسیل و واقعی کاربرد آب تقریباً برابر بود که بیان گر اعمال کم آبیاری در مزارع مورد مطالعه به دلیل کمبود آب در طی فصل زراعی بوده است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۷۸). حمدی و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی تعدادی از سامانه‌های سنتریپوت در مغان نتیجه گرفتند که سامانه‌های مورد مطالعه از کارایی مناسبی برخوردار نبودند. دلیل کارایی نامناسب، بیشتر مربوط به مسائل مدیریتی و اشکالات فنی سیستم‌ها بود که مورد توجه قرار نگرفته بود. مقادیر پایین راندمان‌ها به علت ناسازگاری شرایط کارکرد و طراحی نامناسب سیستم بود که باید مورد توجه و بازبینی قرار گیرد. در تحقیقی راندمان پتانسیل کاربرد، راندمان واقعی کاربرد و توزیع یکنواختی برای سیستم سنتریپوت در طول فصل زراعی به ترتیب ۳۴/۹، ۳۴/۶ و ۴۷/۳ درصد به دست آمد. علت پایین بودن راندمان واقعی کاربرد، مشکل مدیریت در نحوه کاربرد سیستم تشخیص داده شد. برای بالا بردن کارایی سیستم، افزایش سرعت دستگاه، تغییر نازل آپاش‌ها، ایجاد حوضچه ترسیب و حذف جلبک‌ها، استفاده از گزینه‌های مختلف پاشنده‌ها و تامین مقدار آب متناسب با نیاز آبی گیاه پیشنهاد شده است (کریمی، ۱۳۸۰). طی پژوهشی تاثیر سیکل‌های حرکت و توقف سیستم سنتریپوت بر روی شاخص‌های ارزیابی و همچنین تاثیر باد بر روی این پارامترها مورد بررسی قرار گرفت.

صورت گرفت. بدین منظور راندمان و یکنواختی توزیع در سامانه‌های ویل موو، کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک و سنتریپوت بررسی و تعیین شد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزارع استان سمنان انجام گرفت. این استان دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است. به منظور ارزیابی سامانه‌های آبیاری اجرا شده در این استان تعداد شش مزرعه از لیست طرح‌های اجرا شده در استان سمنان از مدیریت آب‌و خاک سازمان جهادکشاورزی استان سمنان انتخاب و پس از هماهنگی با کشاورزان آنها سامانه‌های منتخب مورد ارزیابی فنی قرار گرفتند که مشخصات آنها در جدول ۱ آمده است. به‌منظور تعیین سرعت باد از بادسنج پراب فنجان‌ی استفاده شد. با این بادسنج می‌توان سرعت باد را در محدوده ۰/۹ تا ۳۵ متر بر ثانیه اندازه‌گیری نمود. شاخص‌های مورد ارزیابی فنی شامل راندمان پتانسیل چارک پایین، راندمان کاربرد چارک پایین، ضریب یکنواختی کریستین سن و یکنواختی توزیع بود (مریام و کلر، ۱۹۷۸؛ علیزاده، ۱۳۸۵). جهت ارزیابی سامانه آبیاری بارانی ویلموو و کلاسیک ثابت یکسری قوطی در شبکه مربعی ۳×۳ در فاصله بین سه آبپاش متوالی چیده شد، به‌طوری که آبپاش وسط در مرکز شبکه قوطی‌ها قرار گرفت و قوطی‌ها در دو طرف این آبپاش تا آبپاش مجاور چیده شدند. محدوده مجاز و توصیه شده شاخص‌های فوق در جدول ۲ ارائه شده است. قوطی‌ها استوانه‌ای شکل به قطر ۱۵ و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر بودند. فشار و قطر پاشش نیز اندازه‌گیری شد.

و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی ۱۰ سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در دشت کوه‌دشت در استان لرستان را مورد ارزیابی قرار دادند. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد سهم بزرگی از پایین بودن عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت کوه‌دشت مربوط به مدیریت و بهره‌برداری ضعیف از این سامانه‌ها بوده است. بهرامی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی، سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت (چهار سامانه) و آبفشان غلطان (یک سامانه) اجرا شده در پنج مزرعه در شهرستان‌های مختلف استان فارس را مورد ارزیابی قرار دادند. در پایان نتیجه‌گیری شد، فرونشست عمقی، قدیمی بودن سامانه‌ها، کمبود فشار و تغییرات فشار و دبی آبپاش - ها از علل کاهش یکنواختی توزیع در سامانه‌ها بود. یکسان شدن راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین و راندمان کاربرد واقعی در تمام سامانه‌های آبیاری، بیانگر تامین آب آبیاری کمتر از نیاز گیاه بود. مقادیر کم یکنواختی توزیع نشان‌دهنده تلفات آب به‌صورت فرونشست عمقی بود. با توجه به مرور منابع شاخص‌هایی نظیر راندمان پتانسیل کاربرد، راندمان واقعی کاربرد و مقایسه این دو، همچنین محاسبه یکنواختی توزیع آب در مزرعه به‌منظور ارزیابی و مقایسه سامانه‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند (مریام و کلر، ۱۹۷۸؛ علیزاده، ۱۳۸۵؛ کریمی و جلیلی، ۱۳۹۴). همچنین با عنایت به اینکه در مزارع مختلف، شرایط متفاوتی از نظر عملکرد و استفاده از سامانه‌های آبیاری وجود دارد، تحقیق حاضر برای شناخت مشکلات طراحی و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری بارانی و ارائه راهکارهای بهبود عملکرد این سامانه‌ها در شرایط اقلیمی و در مزارع استان سمنان

جدول ۱- مشخصات مزارع و سیستم‌های آبیاری بارانی مطالعه شده

شماره مزرعه	منطقه	نوع سیستم	محصول	مساحت (هکتار)	بافت خاک
۱	دامغان	ویل موو	بونجه	۶۰	لومی رسی
۲	سمنان	ویل موو	بونجه	۴	شنی
۳	بسطام	ویل موو	گندم	۲۰	لومی شنی
۴	شاهرود	کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک	گندم	۴	لومی
۵	مجن	کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک	بونجه	۱۵	لومی شنی
۶	سمنان	سنتریپوت	بونجه	۹	شنی

دستگاه شماره یک، قوطی دوم شماره دو و الی آخر شماره‌گذاری شدند و حجم آب درون هر قوطی در شماره محل قوطی ضرب و بدین ترتیب نمونه‌ها وزنی شدند (علیزاده، ۱۳۸۵). اکنون برای محاسبه یکنواختی پخش آب، بایستی حجم آب قوطی‌ها در هر ردیف به صورت نزولی مرتب شده و یک چهارم تعداد آنها از آنها جدا شده و مجموع این اعداد بر مجموع شماره قوطی‌های مربوط به آن‌ها تقسیم گردد. عدد به دست آمده همان میانگین وزنی یک چهارم پایین‌ترین نمونه‌ها خواهد بود. واحد عدد به دست آمده میلی لیتر (واحد حجم) است که اگر آن را بر سطح دهانه قوطی تقسیم کنیم به میلی متر (واحد عمق) تبدیل می‌شود. همچنین میانگین وزنی کل نمونه‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌شود (کریمی و جلیلی، ۱۳۹۴):

$$(۳) \quad \text{میانگین نمونه‌های وزنی} = \frac{\text{میانگین وزنی کل نمونه‌ها}}{\text{مجموع اعداد نمونه‌ها}}$$

$$(۴) \quad \text{میانگین وزنی یک چهارم پایین‌ترین نمونه‌ها} = \frac{\text{میانگین وزنی کل نمونه‌ها}}{\text{یکنواختی پخش آب}} \times 100$$

جدول ۲- محدوده مجاز شاخص‌های ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی (درصد) (مریام و کلر، ۱۹۷۸)

ضریب یکنواختی	یکنواختی توزیع	راندمان پتانسیل کاربرد
۸۱-۸۷	۶۷-۸۰	۶۵-۸۵

#### نتایج و بحث

ابتدا نتایج ارزیابی مزارع مورد مطالعه بصورت مجزا ارائه شده است. در مزرعه شماره یک، ضریب یکنواختی و یکنواختی پخش به ترتیب ۸۰ و ۷۲ درصد به دست آمد که مقدار قابل قبولی است (روگزر و همکاران، ۱۹۹۷). بنابراین طراحی سامانه به خوبی انجام گرفته است.

با توجه به اینکه متوسط عمق آب در ربع اراضی که کمترین مقدار عمق آب را دریافت کرده بودند برابر ۵۷/۲ میلی‌متر و از کمبود رطوبت خاک (mm)

پس از پایان آزمایش با توجه به عمق آب جمع شده در قوطی‌ها پارامترهای مورد نیاز محاسبه گردید. کمبود رطوبت خاک یا SMD عبارت است از مقدار خشکی منطقه ریشه در زمان معین و این کمبود رطوبت برابر مقدار آبی است که باید در موقع آبیاری جبران شود. SMD از روابط زیر محاسبه گردید.

$$(۱) \quad SMD = (\theta_2 - \theta_1) * z * \rho_b$$

که در آن:

$\theta_1$  و  $\theta_2$  به ترتیب رطوبت وزنی قبل و ۲۴ ساعت بعد از آبیاری (درصد)، Z عمق توسعه ریشه (cm) و  $\rho_b$  جرم مخصوص ظاهری خاک ( $gr/cm^3$ ) می‌باشد. زمانی که آبیاری به اندازه کافی برای جبران SMD انجام نشود، PELQ و AELQ با هم برابر به دست می‌آیند و در این وضعیت کشاورز کم‌آبیاری انجام داده است. در این صورت متوسط عمق آب در ربع پایین نمونه‌ها از SMD کمتر است. تلفات بادبردگی و تبخیر از تفاوت بین یکنواختی توزیع و راندمان پتانسیل چارک پایین محاسبه شد (کریمی و جلیلی، ۱۳۹۴).

$$(۲) \quad \text{تلفات تبخیر و بادبردگی} = DU - PELQ$$

مدت زمان آزمایش برای سیستم سنتریپوت حدود چهار ساعت و برای سایر سامانه‌ها حدود یک ساعت به طول انجامید. ارزیابی سامانه‌های آبیاری سنتریپوت با ارزیابی روش‌های کلاسیک تا اندازه‌ای متفاوت است. از آنجایی که هرچه از نقطه محور دستگاه فاصله گرفته می‌شود محلی که نمونه‌ها در آن واقع می‌شوند، نشان دهنده‌ی بخش وسیع‌تری از اراضی می‌باشد، حجم آب جمع‌آوری شده در قوطی‌ها را باید وزنی کرد. برای وزنی کردن نمونه‌ها، هر یک از آنها باید در یک ضریبی که مربوط به فاصله یا شماره محل آنهاست ضرب شوند. در اینجا فاصله از محل محور تا برج آخر ۱۴۴ متر بود که به فواصل شش متر میخ کوبی شد و قوطی‌ها در محل میخ‌ها قرار گرفتند. ساده‌ترین روش وزندهی شماره‌گذاری قوطی‌ها از مرکز به سمت انتهایی دستگاه می‌باشد؛ بنابراین قوطی اول از سمت مرکز

طراحی نامناسب سامانه است. میزان AELQ سامانه ۲۷ درصد تعیین شد. عدم تامین فشار لازم برای آبیاریها (جدول ۳) باعث کاهش ضریب یکنواختی و راندمان آبیاری شده است (جدول ۴). در این مزرعه در زمان ارزیابی، سرعت باد ۲/۸ متر بر ثانیه بود و تلفات تبخیر و باد ۱۳/۶ درصد به دست آمد (جدول ۴).

با توجه به اینکه متوسط عمق آب در ربع اراضی که کمترین مقدار عمق آب را دریافت کرده بودند برابر ۵۳/۵ میلیمتر بود و از کمبود رطوبت خاک (mm) ۳۸=SMD بیشتر بود، لذا AELQ و PELQ برابر نبودند و آبیاری به حد کافی بوده است.

در مزرعه چهار برای آبیاری گندم از سیستم کلاسیک با آبیاری متحرک استفاده شده است. ضریب یکنواختی سیستم (CU) و یکنواختی پخش سیستم (DU) به ترتیب ۸۹ و ۸۷ درصد به دست آمد. طبق اطلاعات موجود در جدول ۲ مقادیر به دست آمده در حد مناسبی است. میزان PELQ و AELQ سامانه، مساوی و برابر ۷۶/۶۳ درصد به دست آمد که مقدار مناسبی است و برابر شدن آنها نشان دهنده اعمال کم آبیاری توسط زارع به علت کمبود آب و عدم تناسب سطح زیر کشت با آب موجود است، که خود یک روش مدیریتی برای بالا بردن راندمان آبیاری می‌باشد. سیستم از نظر یکنواختی و عملکرد هیدرولیکی مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۳ و ۴ در وضعیت خوبی قرار داشت. در این مزرعه در زمان ارزیابی، سرعت باد ۱/۸ متر بر ثانیه بود و تلفات تبخیر و باد ۱۰/۴ درصد به دست آمد (جدول ۴). در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک در شرایط وزش باد در صورتی که آرایش آبیاریها به صورت مربعی باشد، تلفات تبخیر و باد به حداقل خواهد رسید (بزانه و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به اینکه متوسط عمق آب در ربع اراضی که کمترین مقدار عمق آب را دریافت کرده بودند برابر ۱۵۰ میلیمتر و از کمبود رطوبت خاک (mm) ۱۶۲=SMD کمتر بود لذا: AELQ=PELQ به دست

۷۲=SMD) کمتر بود لذا: AELQ=PELQ به دست آمد. با توجه به مطالب بالا در این طرح کم آبیاری صورت گرفته بود (جدول ۴). در این مزرعه در زمان ارزیابی، سرعت باد ۲/۶ متر بر ثانیه بود و تلفات تبخیر و باد ۱۳/۴ درصد به دست آمد (جدول ۴). در مزرعه شماره دو میزان ضریب یکنواختی و یکنواختی پخش به ترتیب ۶۸ و ۶۲ درصد به دست آمد. ضریب یکنواختی مقدار قابل قبولی است، اما کمی پایین‌تر از حد استاندارد می‌باشد. میزان PELQ و AELQ سامانه به ترتیب برابر با ۵۰ و ۲۱/۸ درصد به دست آمد. با توجه به نتایج اندازه‌گیری دبی، فشار و قطر پاشش آبیاریها (جدول ۳) فشار کارکرد پایین سبب شد مقدار دبی خروجی از آبیاریها و در نتیجه شعاع پاشش آنها کمتر از مقدار ارائه شده آن در کاتالوگ و طراحی باشد. در این طرح با توجه به اینکه متوسط عمق آب در ربع اراضی که کمترین مقدار عمق آب را دریافت نموده‌اند برابر ۷۸ میلیمتر بود و از کمبود رطوبت خاک (mm) ۳۴=SMD بیشتر بود، لذا AELQ و PELQ برابر نبودند و آبیاری به حد کافی بوده است.

اختلاف فشار زیاد در سیستم و عدم مدیریت مناسب آبیاری باعث کاهش ضریب یکنواختی و راندمان واقعی آبیاری شده است. بعضی آبیاریها به علت خرابی تعویض شده بودند اما مدل آبیاریهای جدید با مدل آبیاریهای اولیه متفاوت بود در نتیجه با آنها از نظر دبی و فشار کاری مطابقت نداشتند. همین امر باعث کاهش ضریب یکنواختی و راندمان واقعی سامانه شده بود. در زمان ارزیابی در این مزرعه سرعت باد ۱/۹ متر بر ثانیه بود و تلفات تبخیر و باد ۱۲ درصد تعیین شد. بطور کلی در سامانه‌های آبیاری بارانی مانند ویل موو که آب در ارتفاع بالاتری پخش می‌شود، تلفات تبخیر و باد نیز بیشتر است. میزان ضریب یکنواختی و یکنواختی پخش در مزرعه شماره سه به ترتیب ۵۴/۳ و ۵۱/۶ درصد محاسبه شد، که مقدار قابل قبولی نیست (روگرز و همکاران، ۱۹۹۷). راندمان پتانسیل آب در ربع پایین سیستم PELQ برابر ۳۸ درصد به دست آمد که عدد مناسبی نیست و نشان از

می‌دهد که سیستم سنتریپوت از شرایط خوبی برخوردار بوده است. با توجه به این‌که فشار آخرین آبیاش ۲/۶ اتمسفر بود، تمامی اختلاف ارتفاع‌ها از ۲۰ درصد فشار آخرین آبیاش که ۰/۵۲ اتمسفر (۵/۲ متر) است کمتر است، لذا براساس معیارهای دونالد (۱۹۸۲) که اختلاف بیش از ۲۰ درصد را عاملی برای کم شدن یکنواختی پخش می‌داند، در این بررسی این اختلاف باعث کاهش یکنواختی پخش (DU) نشد. مقدار PELQ یا راندمان پتانسیل کاربرد برابر ۸۳ درصد به دست آمد که مقدار خوبی است و این نشان می‌دهد سیستم موجود با زمین و شرایط زراعی موجود مطابقت خوبی داشته و خوب طراحی شده است. با مقایسه مقادیر DU و PELQ ملاحظه می‌شود که بین آنها اختلاف کمی وجود دارد که نشان‌دهندی مقدار تلفات آب ناشی از بادبردگی و تبخیر است. با توجه به این‌که در این سیستم آبیاش‌ها توسط لوله‌های عصایی تا ارتفاع یک متر از سطح زمین پایین آورده شده‌اند لذا تلفات تبخیر و باد به حداقل می‌رسد. مقدار AELQ برابر ۷۹/۶ درصد به دست آمده که مقدار خوبی است و ناشی از مدیریت خوب دستگاه است. از طرف دیگر اختلاف AELQ و PELQ ناچیز بوده و مبین این است که دستگاه عملکرد خوبی داشته است (جدول ۳ و ۵). در این مزرعه در زمان ارزیابی، سرعت باد ۱/۸ متر بر ثانیه بود و تلفات تبخیر و باد ۸ درصد به دست آمد (جدول ۴). ارتفاع پایین تر آبیاش‌ها نسبت به سایر سامانه‌های آبیاری بارانی باعث می‌شود در سامانه سنتریپوت تلفات تبخیر و باد کمتر باشد. پلایا و ماتئوس (۲۰۰۶) گزارش نمودند استفاده از ماشین‌های آبیاری نظیر سامانه سنتریپوت به جای سامانه ثابت موجب کاهش تلفات تبخیر و باد می‌شود.

آمد. با توجه به مطالب بالا در این طرح کم‌آبیاری صورت گرفته بود (جدول ۴).

در مزرعه شماره پنج برای آبیاری یونجه از سیستم کلاسیک با آبیاش متحرک استفاده شده است. ضریب یکنواختی و یکنواختی پخش سیستم به ترتیب ۶۱ و ۴۳ درصد به دست آمد که هیچ‌کدام در محدوده مناسب قرار نگرفته‌اند. میزان PELQ و AELQ مساوی و برابر ۳۳ درصد به دست آمد؛ که حاکی از کم‌آبیاری توسط زارع در این مزرعه است. سیستم از نظر یکنواختی پخش در وضعیت خوبی قرار نداشت زیرا به علت عدم فاصله‌ی مناسب لوله‌های فرعی و فاصله آبیاش‌ها روی لوله‌های فرعی، آبیاش‌ها همپوشانی کافی را نداشتند که این امر نیز نشان از طراحی نامناسب سامانه می‌باشد (جدول ۳ و ۴). در این مزرعه در زمان ارزیابی، سرعت باد ۱/۵ متر بر ثانیه بود و تلفات تبخیر و باد ۱۰ درصد به دست آمد (جدول ۴).

در مزرعه شماره شش از سامانه سنتریپوت بهره گرفته شده بود. دستگاه مورد بررسی دارای سه قطعه (اسپن) و روی هر اسپن ۲۰ آبیاش قرار گرفته بود. طول هر اسپن ۴۸ متر، فاصله از محور تا برج آخر ۱۴۴ متر، طول بال معلق ۲۱ متر، سطح آبیاری شده ۸/۵ هکتار بود. ظرفیت سیستم موجود ۲۰ لیتربرثانیه و فشار کارکرد آن ۲/۸ اتمسفر بود. محصول تحت آبیاری یونجه و بافت خاک شنی بود. فاصله آبیاش‌ها از یکدیگر سه متر بود. شیب زمین تحت سیستم آبیاری بارانی یک درصد بود. اختلاف ارتفاع زمین بین ابتدا و انتهای سه ردیف شعاعی قوطی‌ها به ترتیب ۰/۲۴، ۱/۱۳، ۱/۷۲ متر به دست آمد.

میزان یکنواختی پخش (DU) در این مزرعه، برای این سامانه برابر ۹۱ درصد بوده که این مقدار نشان

جدول ۳- مشخصات آبیاری‌های نو و کارکرده

شماره مزرعه	نوع آبیاری	آرایش آبیاری‌ها (m×m)	اندازه نازل‌ها (mm×mm)	مشخصات آبیاری نو			مشخصات آبیاری کارکرده		
				شعاع (m)	فشار کاری (bar)	دبی (lit/sec)	شعاع پاشش (m)	فشار کاری (bar)	دبی (lit/sec)
۱	VYR35	۱۸×۱۲	۴/۴×۲/۴	۱۵/۷	۳/۵	۰/۵۰	۱۵/۳	۳/۲	۰/۴۹
۲	Koala	۱۸×۱۲	۴/۴×۲/۴	۱۵	۳/۲	۰/۴۷	۱۳/۲	۲/۲	۰/۳۷
۳	VYR35	۱۲×۱۲	۴/۴×۲/۴	۱۵/۷	۳/۵	۰/۵۰	۱۳/۶۰	۲/۵	۰/۴۰
۴	VYR35	۱۸×۱۲	۴/۸×۳/۲	۱۶	۳/۵	۰/۶۶	۱۴/۱۰	۲/۵	۰/۴۹
۵	VYR60	۱۵×۱۳	۴/۴×۲/۴	۱۵/۷	۳/۵	۰/۵۰	۱۵/۵	۳/۳	۰/۴۷
۶	VYR155	۲۵×۲۰	۸×۶/۳×۳/۲	۲۰	۴/۵	۲/۵۰	۱۹/۷	۴/۳	۲/۵۰
۷	Senninger	۳	۸/۳	۵	۲/۲	۱/۱۰	۴/۹	۲/۱	۱/۰۶

جدول ۴- پارامترهای ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی مطالعه شده

نوع سیستم	شماره مزرعه	یکنواختی توزیع	ضریب یکنواختی	راندمان پتانسیل		سرعت باد (m/s)	بادبردگی و تبخیر (%)
				راندمان واقعی کاربرد	راندمان واقعی کاربرد		
ویل موو	۱	۷۲	۸۰	۵۸/۶	۵۸/۶	۲/۶	۱۳/۴
	۲	۶۳	۶۸	۵۰	۲۱/۸	۱/۹	۱۲
	۳	۵۱/۶	۵۴/۳	۳۸	۲۷	۲/۸	۱۳/۶
	۴	۲۵/۳	۲۶/۴	۱۶	۱۰/۹	۱/۳	۹
کلاسیک ثابت با	۵	۸۷	۸۹	۷۶/۶	۷۶/۶	۱/۸	۱۰/۴
آبیاری متحرک	۶	۴۳	۶۱	۳۳	۳۳	۱/۵	۱۰
ستتر پیوت	۷	۹۱	۹۴/۵	۸۳	۷۹/۶	۱/۸	۸

جدول ۵- پارامترهای ارزیابی فنی در سیستم ستتر پیوت

شماره مزرعه	میانگین عمق آب کاربردی (mm)	میانگین وزنی نمونه‌ها در ربع پایین (mm)	میانگین وزنی کل نمونه‌ها (mm)	کمبود رطوبتی خاک (mm)	یکنواختی توزیع (%)	ضریب یکنواختی (%)	راندمان پتانسیل کاربرد (%)	راندمان واقعی کاربرد (%)	تلفات تبخیر و بادبردگی (%)

#### مقایسه پارامترهای مورد بررسی در کل سامانه‌های مورد مطالعه

میانگین راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان واقعی کاربرد ربع پایین در کل سیستم‌های مورد مطالعه به ترتیب ۵۰/۸ و ۴۳/۹ درصد می‌باشد. در مزرعه یک راندمان‌ها در وضعیت مناسبی قرار داشتند که نشان‌دهنده طراحی خوب سامانه می‌باشد. در مزرعه دو به علت عدم تامین فشار لازم دبی آبیاری‌ها و شعاع پاشش آنها کمتر از مقدار ارایه شده در کاتالوگ و مقدار طراحی بود و باعث کاهش راندمان‌ها شده بود. در مزرعه سه نیز فشار لازم تامین

نشده بود و راندمان‌ها در حد مطلوبی نبودند. در مزرعه چهار راندمان‌ها در حد مناسبی بودند و سامانه از نظر یکنواختی در وضعیت مناسبی قرار داشت که نشان از طراحی و اجرای درست سامانه بود. در مزرعه پنج به علت عدم فاصله مناسب لوله‌های فرعی، آبیاری‌ها همپوشانی کافی نداشتند که نشان‌دهنده طراحی نامناسب سامانه بود. در مزرعه شش راندمان‌ها در وضعیت مطلوبی قرار داشتند که نشان‌دهنده سامانه با زمین و شرایط زراعی موجود مطابقت خوبی داشته و خوب طراحی شده است. میانگین راندمان واقعی کاربرد به میزان ۶/۹ درصد با راندمان



سیستم سنتر پیوت بهترین وضعیت را داشتند. طراحی خوب، وجود آبیاش‌های مناسب و نو و پایین بودن ارتفاع آبیاش‌ها از عوامل عملکرد بهتر این سیستم بود. پس از آن سیستم کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک از وضعیت بهتری برخوردار بود. استفاده از آبیاش‌های مناسب و نو، پایین بودن ارتفاع آبیاش‌ها و وجود فشار مناسب در سیستم (جداول ۳ و ۴) باعث افزایش کارایی این سیستم در یکی از مزارع شده بود در حالی که در مزرعه دیگر فاصله نامناسب آبیاش‌ها باعث کاهش کارایی سیستم کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک شده بود.

### نتیجه گیری

ارزیابی سامانه‌های مختلف در استان سمنان در ۶ مزرعه نشان داد که پارامترهای AELQ, PELQ, CU و DU در مزرعه یک در وضعیت مناسبی قرار داشتند که نشان‌دهنده‌ی طراحی خوب سامانه می‌باشد. در مزرعه ۲ به علت عدم تامین فشار لازم دبی آبیاش‌ها و شعاع پاشش آنها کمتر از مقدار ارایه شده در کاتالوگ و مقدار طراحی بود و باعث کاهش یکنواختی و راندمان‌ها شده بود. در مزرعه سه نیز فشار لازم تامین نشده بود و یکنواختی و راندمان‌ها در حد مطلوبی نبودند. در مزرعه ۴ راندمان‌ها در حد مناسبی بودند و سامانه از نظر یکنواختی در وضعیت مناسبی قرار داشت که نشان از طراحی و اجرای درست سامانه بود. در مزرعه پنج به علت عدم فاصله‌ی مناسب لوله‌های فرعی، آبیاش‌ها همپوشانی کافی نداشتند که نشان‌دهنده‌ی طراحی نامناسب سامانه بود. در مزرعه شش، سیستم آبیاری سنتر پیوت نسبت به دو سامانه ویلموو و کلاسیک ثابت وضعیت بهتری را داشت که نشان‌داد سامانه با زمین و شرایط زراعی موجود مطابقت خوبی داشته و خوب طراحی شده است.

پتانسیل کاربرد تفاوت دارد و نشان‌دهنده این حقیقت است که هر چند راندمان پتانسیل کاربرد پایین است ولی کشاورزان بهره‌برداری نسبتاً خوبی از سیستم خود دارند. در این بررسی مقادیر CU و DU به‌طور متوسط برای سامانه‌ها به ترتیب برابر ۶۷/۶ و ۶۱/۷ درصد به دست آمد. عدم تامین فشار لازم برای آبیاش‌ها و فاصله نامناسب آبیاش‌ها علل پایین بودن یکنواختی توزیع، ضریب یکنواختی، راندمان پتانسیل کاربرد و راندمان واقعی کاربرد می‌باشد (جداول ۳ و ۴). از طرفی همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد میزان تبخیر و بادبردگی ۱۰/۹ درصد می‌باشد که می‌تواند یکی از علل کاهش یکنواختی در سامانه‌های مورد مطالعه باشد. در مواردی به دلیل این که آبیاری به اندازه کافی برای جبران SMD انجام نمی‌شد PELQ و AELQ با هم برابر به دست آمده‌اند در واقع در این وضعیت کشاورزان در مزرعه از کم‌آبیاری استفاده می‌کردند.

### مقایسه پارامترهای مورد بررسی در هر یک از سامانه‌های مورد مطالعه

همانگونه که در جدول ۴ مشاهده شد، راندمان پتانسیل در مزارع با سامانه آبیاری ویلموو از ۱۶ تا ۵۸/۶ درصد و میزان راندمان واقعی سامانه نیز از ۱۰/۹ درصد تا ۵۸/۶ درصد متغیر است. این اعداد حاکی از برآورده نشدن انتظارات از سامانه آبیاری ویلموو در بعضی مزارع می‌باشد. میانگین پارامترهای AELQ, PELQ, CU و DU در سیستم‌های ویلموو به ترتیب برابر ۴۰/۷، ۲۹/۶، ۵۷/۲ و ۵۲/۷ درصد و در سیستم‌های کلاسیک ثابت ۵۴/۸، ۵۴/۸، ۷۵ و ۶۵ درصد به دست آمد. در سیستم سنتر پیوت نیز مقادیر فوق به ترتیب برابر ۸۳، ۷۹/۶، ۹۴/۵ و ۹۱ درصد بود. ملاحظه می‌شود این پارامترها در

## فهرست منابع

۱. ابراهیمی، ح. و ی.، عابدیان. ۱۳۷۶. معیارها و مبانی طراحی روش‌های آبیاری تحت فشار. اداره کل توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار.
۲. اشرف، ا. میرزایی، ف. و محمد بیگی، آ. ۱۳۹۴. ارزیابی هیدرولیکی سیستم آبیاری بارانی دورانی و کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک (مطالعه موردی: مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۴۶. شماره ۲. ص ۳۶۱-۳۵۳.
۳. برادران هزاهو، پ.، س.، برومندنسب، م.، بهزاد و ا.، محسنی موحد. ۱۳۸۵. ارزیابی فنی سیستم‌های آبیاری بارانی اجراشده در شهرستان اراک. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز. دانشکده مهندسی علوم آب. اهواز. اردیبهشت ماه.
۴. بزانه، م.، س.، ع.، اشرف صدرالدینی، ا.ح.، ناظمی و ر.، دلیر حسن‌نیا. ۱۳۹۴. تاثیر آرایش و فواصل بهینه آبیاری - ها بر ضریب یکنواختی سامانه آبیاری بارانی ثابت. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۹، شماره ۴. ص ۵۴۶-۵۳۷.
۵. بهرامی، م.، خواجه‌ای، ف.، دیندارلو، ع. و س.، اسلامیان. ۱۳۹۶. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در برخی از دشت‌های استان فارس. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. جلد ۲۴، شماره ۱. ص ۳۲-۲۱.
۶. حمدی احمدآباد، ی.، لیاقت، ع.، سهرابی، ت. رسول زاده، ع. نظری، ب. و لیاقت، ا. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای (سنتریوت) در مزارع کشت و صنعت و دامپروری مغان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. دوره ۴۷. شماره ۴. ص ۷۲۹-۷۲۳.
۷. سی و سه مرده، م. و بایزیدی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در مطالعه موردی استان آذربایجان غربی - مهاباد. مجله مهندسی منابع آب. دوره چهارم. شماره ۱. ص ۷۰-۶۳.
۸. شیخ اسماعیلی، ا. ۱۳۸۵. بررسی تلفات تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز. دانشکده مهندسی علوم آب. اهواز. اردیبهشت ماه.
۹. علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار. دانشگاه امام رضا.
۱۰. قاسم زاده مجاوری، ف. ۱۳۶۹. ارزیابی سیستم‌های آبیاری مزارع. آستان قدس رضوی.
۱۱. کریمی، م. ۱۳۸۰. عملکرد دستگاه آبیاری دورانی در مغان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۲. شماره ۸.
۱۲. کریمی، م. و جلینی، م. ۱۳۹۴. دستورالعمل ارزیابی عملکرد دستگاه دوار مرکزی (سنتریوت) (یادداشت فنی). نشریه آب و توسعه پایدار. سال دوم. شماره ۲. ص ۹۱-۸۵.
۱۳. مصطفی زاده ب.، م.، عطایی و س.، اسلامیان. ۱۳۷۸. ارزیابی طرح‌های آبیاری بارانی اجرا شده در منطقه اصفهان و بررسی امکان اصلاح آنها. هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۱۴. مولایی، ز. معروف پور، ع. و ع.، ملکی. ۱۳۹۶. بررسی و ارزیابی فنی برخی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت کوهدشت. مجله پژوهش آب ایران. جلد ۱۰، شماره ۲. ص ۱۳۲-۱۲۵.
15. ASAE Sprinkler Irrigation Committee. 1995. ASAE Standards 1995. P:750-751.
16. Haman, D. and Yeagar, T. 2005. Field Evaluation of Container Nursery Irrigation Systems: Uniformity of Water Application in Sprinkler Systems. The University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS).

17. Keller, J. and Bliesner, R. 1990. Sprinkler and trickle irrigation. Avi Book Co. Ltd. New York.
18. Merriam, J.L. and Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, United States University, Logan. PP: 271.
19. Ley, T. 2003. Irrigation System Evaluation. Washington State University Cooperative Extension.
20. Ouazaa, S., Latorre, B., Burguete, J., Serreta, A., Playan, E. and Zapata, N. 2015. Effect of the start-stop cycle of centerpivot towers on irrigation performance: Experiments and simulations. Journal of Agricultural Water Management. Vol. 147, No. 1: 163-174.
21. Playa, E. and Mateos, L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. Journal of Agricultural Water Management. Vol. 80, No. 1: 100-116.
22. Rogers Danny H., Freddie R., Lamm, G., Clark, A., Barnes, L. and Mankin K. 1997. Efficiencies and water losses of irrigation systems. Irrigation management series: MF-2243. Kansas state university. Research and Extension Engineers. PP: 6.
23. Stambouli, T., Martinez, A., Faci, J., Howell, T. and Zapata, N. 2013. Sprinkler evaporation losses in alfalfa during solid-set sprinkler irrigation in semiarid areas. Irrigation Science. Vol. 31: 1075-1089.
24. Tarjuelo, J.M., Ortega, J.F. and Denjuan, J.A. 2000. Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid condition. Journal of Agricultural Water Management. Vol. 43, No. 3: 263-284.

Archive of SID