تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۴ (ص ۳۵۱-۳۴۳)

ارزیابی سیستم‌های آبیاری دشت قزوین با تعیین راندمان‌های آبیاری کلاسیک و نئوکلاسیک

عبدالمجید لیاقت[۱]، اسماعیل مکاری قهرودی[۲]، حمیده نوری[۳]*، عباس ستوده‌نیا[۴]

۱. استاد گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. استادیار گروه مهندسی آبیاری دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) قزوین

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۲۴ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۰/۳۰)

چکیده

راندمان آبیاری یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی سیستم‌های آبیاری است. هدف این پژوهش ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی و تحت فشار با روش نئوکلاسیک راندمان (راندمان خالص و راندمان مؤثر) و مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با نتایج ارزیابی سیستم‌ها به روش کلاسیک است. بدین‌منظور، ۲۰۰۰ هکتار از اراضی تحت پوشش شبکهٔ آبیاری قزوین، که انواع مختلفی از سیستم‌های آبیاری را شامل می‌شود، انتخاب شد. ارزیابی سیستم‌ها طی دو مرحله، اوایل و اواسط، از مرحلهٔ رشد در طول تابستان ۱۳۹۰ـ۱۳۹۱، انجام شد. نتایج نشان داد که راندمان کلاسیک آبیاری در روش سطحی در مراحل ابتدایی و اواسط رشد به‌ترتیب برابر با ۵/۹ و ۲۷/۸ درصد است. همچنین، در روش بارانی، پایین‌ترین مقادیر نتایج این ارزیابی به روش خطی مربوط بود (۱۱/۸ و ۴۵/۶ درصد به‌ترتیب در مراحل اولیه و اواسط رشد). بیشترین تفاوت مقادیر راندمان خالص و راندمان کلاسیک به سیستم آبیاری سطحی- جویچه‌ای مربوط بود (۴۱/۲ و ۴۴/۹ درصد به‌ترتیب در مراحل اولیه و اواسط رشد). در همهٔ سیستم‌های آبیاریِ بررسی‌شده و در هر دو مرحلهٔ ارزیابی، مقادیر راندمان مؤثر نسبت به راندمان خالص کمتر بود و مقادیر این تفاوت در سیستم آبیاری سطحی- جویچه‌ای ۳۷/۱ و ۲۲/۲ درصد، به‌ترتیب در مراحل اولیه و اواسط رشد به‌دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد راندمان مؤثر بیان بهتری در زمینهٔ مناسب‌بودن مدیریت آبیاری در مقیاس مزرعه و نحوهٔ انجام‌دادن آبیاری دارد؛ درحالی‌که راندمان خالص فقط مفهوم استفادهٔ مجدد از تلفات مفید را در مقیاس مکانیِ بزرگ‌تر از مزرعه لحاظ می‌کند.

کلیدواژگان: راندمان خالص، راندمان کلاسیک، راندمان مؤثر.

مقدمه

یکی از راه‌های کاهش محدودیت آب، ارتقای راندمان مصرف آب است. فعالیت‌های حفاظت آب در سیستم‌های آبیاری، به‌خصوص در طول دوره‌های خشک‌سالی، از سوی برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران تشویق و تأکید می‌شود و مهم‌ترین هدف آن‌ها افزایش راندمان آبیاری با مفهوم کاهش احتیاجات ناخالص آب بوده است. قبل از پیدایش مفهوم راندمان آبیاری، مهندسان برای طراحی سیستم‌های آبیاری از مفهوم مدول آبیاری استفاده می‌کردند (Willardson, 1994). مشکلات موجود در مدول آبیاری موجب پیدایش مفهوم راندمان آبیاری شد. یکی از موانع بزرگ و اصلی در تجزیه‌وتحلیل راندمان آبیاری تعریف تبخیر و تعرق واقعی گیاهان (ETa) بود. ارائهٔ روش‌های مختلف محاسبه و تعیین Eta، نقطهٔ عطفی در تعریف و ارائهٔ مفهوم راندمان آبیاری بود. ایزرائیلسن مفهوم راندمان آبیاری را به صورت منطقی و ریاضی بیان کرد که پایه‌گذار و توسعه‌دهندهٔ چیزی است که کلر و کلر (Keller and Keller, 1995) آن را «مفهوم کلاسیک راندمان آبیاری» نامیده‌اند (Israelsen, 1932). مفهوم راندمان کلاسیک در دو قالب مهم استفاده شده است. اول اینکه از آن به‌منزلهٔ ابزاری برای طراحی سیستم‌های آبیاری و سایر سیستم‌های تحویل آب استفاده می‌شود. دومین استفاده از راندمان کلاسیک یک معیار و ملاک از کارایی و راندمان مهندسی بوده است. عموماً چنین فرض می‌شود که راندمان کلاسیکِ بالاتر بیانگر بهتر بودن عملکرد هر سیستم آبیاری است.

تصور عمومی بر این است که راندمان آبیاری بسیار پایین است و اگر همهٔ نیازهای آبیِ آینده با ارتقای راندمان کاربرد آب برآورده نشود، حداقل بخش بزرگی از این نیازها با این کار برآورده خواهد شد و به توسعهٔ منابع آبیِ اضافی نیاز نیست.

* نویسندهٔ مسئول: hnoory@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

هرچند پتانسیل صرفه‌جویی آب از طریق ارتقای راندمان آبیاری درخور توجه است، آن‌قدرها که عموماً تصور می‌شود نیست. دلیلش نیز آن است که اغلب، مفاهیم راندمان مصرف آب راندمان سیستم‌های آبیاری موجود را تا اندازهٔ زیادی کمتر از آنچه است برآورد می‌کنند. درحقیقت، وقتی بخشی از تلفات آب آبیاری در سیستم آبیاری یا هیدرولوژیکی دوباره به چرخه می‌افتد، راندمان آبیاری در سیستم افزایش می‌یابد (Seckler *et al.*, 2003). سیستم‌های ثقلی سنتی درصد زیادی از سیستم‌های آبیاری را در جهان تشکیل می‌دهند و تغییر سیستم آبیاری به سیستم‌های کاراتر به لحاظ تئوری تقریباً راندمان کلاسیک را افزایش خواهد داد. این برداشت از مفهوم ارائه‌شده از سوی ایزرائیلسن (Israelsen, 1932) تأثیرات مهمی در خارج از محدودهٔ فیزیکی سیستم آبیاری دارد؛ به این معنا که وقتی مفهوم راندمان آبیاری در برنامه‌ریزی، مدیریت و طرح‌ریزی منابع آب وارد می‌شود، معمولاً پذیرفته می‌شود که آبیاری سیستمی ناکارا و با مقادیر بسیار زیادی تلفات آب است که می‌تواند با اتخاذ تکنولوژی‌ها و مدیریت‌های اصلاح‌شده صرفه‌جویی و برای تأمین نیازهای آیندهٔ آب در بخش‌های مختلف استفاده شود. درواقع، این یک اشتباه اساسی در تعبیر و تفسیر راندمان کلاسیک است که به اشتباه‌های بزرگ‌تری در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری و منابع آب منجر شده است. تلاش‌های مختلفی برای حل این اشتباه و خطا صورت گرفته است که به ظهور مفهوم نئوکلاسیک راندمان آبیاری منجر شده است. مفهوم نئوکلاسیک راندمان آبیاری در پی تغییر نگرش در آبیاری از دیدگاه سیستم‌های تحویل آب به دیدگاه وسیع‌تری ایجاد شده است که برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری را در کنار کل منابع آب داخل یک حوضهٔ رودخانه در نظر می‌گیرد. با روی آوردن به این دیدگاه، مشخص شد که مفهوم راندمان کلاسیک ممکن است موجب خطا و اشتباه شود. دلیل این امر آن است که تلفات آب در راندمان کلاسیک در حالت کلی سیستم لزوماً تلفات واقعی نیست و بسیاری از این تلفات در قسمت‌های دیگر سیستم دوباره استحصال و استفاده می‌شوند. بسیاری از محققان مفهوم کلاسیک راندمان آبیاری را برای ارزیابی آثار هیدرولوژیکی آبیاری در حوضه مناسب ندانسته‌اند (Jensen, 2007; Molden *et al.*, 2010; Perry, 1999; Perry, 2007; Seckler, 1996; Seckler *et al.*, 2003; Willardson *et al.*, 1994). مفهوم کلاسیک راندمان، حقایق مسائل خاصی نظیر استفادهٔ مجدد، سرنوشت کل آب استفاده‌شده و آب مصرفی، تأثیر موقعیت استفادهٔ درون حوضه و کیفیت آب را در حوضه در نظر نمی‌گیرد و این در حالی است که این مسائل از اهمیت بالایی در مدیریت آب، به‌ویژه در شرایط کمبود آب، برخوردار است. نمونه‌هایی از تحلیل‌های متناقض در فعالیت‌های مدیریت آب و برنامه‌های حفاظت آب به علت ناقص بودن کاربرد مفهوم کلاسیک راندمان را گزارش کردند (Huffaker, 2008; Ward and Pulido, 2008; Lankford, 2012). تعدادی از محققان تمایز بین مفهوم راندمان کلاسیک آبیاری و راندمان نئوکلاسیک آبیاری را پیشنهاد کرده‌اند (Haie *et al.*, 2008; Keller *et al.*, 1996; Mateos, 2008; Seckler, 2003; van Halsema and Vincent, 2012). همچنین، روشی که دربرگیرندهٔ مسائل هیدرولوژیکی مرتبط با آبیاری (که قبلاً ذکر شد) است در قالب بیان‌هایی جدید به نام راندمان خالص و راندمان مؤثر ارائه شد. حسابرسی آب ابزاری ارزشمند برای توصیف استفادهٔ آب در حوضه به شمار می‌رود. حسابرسی آب محدودیت‌ها و سوءتفاهم‌های هیدرولوژیکی ناشی از مفهوم راندمان کلاسیک آبیاری را در ارزیابی مناطق آبیاری‌شده از بین می‌برد (Lecina *et al.*, 2011). ایران کشوری است با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که بیشتر نقاط آن از نظر کمبود آب وضعیت بحرانی دارد و حفاظت از منابع و نهاده‌های موجود باید به‌طور کارا و بهینه صورت گیرد. با توجه به اینکه سهم عمده‌ای از منابع آبیِ موجود برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود، شبکه‌های آبیاری و زهکشی نقش بسزایی در استفادهٔ بهینه از این منابع دارند و در سال‌های گذشته ایجاد سامانه‌های آبیاری تحت فشار با هدف افزایش راندمان کاربرد و کاهش تلفات ناشی از آبیاری و استفادهٔ بهینه از منابع آب توسعه یافته است. با توجه به موارد ذکرشده، هدف اصلی این پژوهش ارزیابی سیستم‌های آبیاریِ سطحی و تحت فشار با رویکرد جدید راندمان و بررسی پارامترهای هیدرولوژیکی آن‌ها در شبکهٔ آبیاری و زهکشی قزوین است. مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده در هدف اصلی با نتایج حاصل از ارزیابی سیستم‌ها به روش کلاسیک، هدف دیگر این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

شبکهٔ آبیاری قزوین در فاصلهٔ ۱۵۰ کیلومتری استان تهران بین ´۲۰ °۳۶ عرض شمالی و ´۴۰ °۴۹ طول شرقی و ´۰۰ °۳۶ عرض شمالی و ´۳۵ °۵۰ طول شرقی واقع شده است. شبکهٔ آبیاری با هدف انتقال آب رودخانهٔ طالقان از محل سد انحرافی زیاران به دشت قزوین احداث شده و حدود ۸۰ هزار هکتار ناخالص از اراضی دشت را زیر پوشش قرار می‌دهد. شبکه، یک کانال اصلی به طول ۹۴ کیلومتر، ۱۲ کانال درجهٔ دو- که طول آن‌ها در مجموع ۲۱۴ کیلومتر است- و کانال‌های درجهٔ سه به طول ۲۳۲

Archive of SID

www.SID.ir

کیلومتر دارد. در حال حاضر، تأمین آب کشاورزی شبکهٔ قزوین از منابع آب سطحی انتقالی از رودخانهٔ طالقان و منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. افت سطح آب زیرزمینی در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری و تغییر در الگوی زراعی و تراکم کشت، که افزایش نیاز آبیاری را در پی داشت، شبکه را با محدودیت تأمین آب مورد نیاز روبه‌رو کرده است. این پژوهش در دو کشت و صنعت مگسال و هزارجلفا، که شامل ۲۰۰۰ هکتار از اراضی تحت پوشش شبکهٔ آبیاری قزوین و شامل انواع مختلفی از سیستم‌های آبیاری‌اند، انجام شد. سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده شامل سیستم بارانیِ کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک، سیستم آبیاری عقربه‌ای با آبپاش‌های ارتفاع تنظیم‌شونده و ثابت، سیستم خطی و سیستم آبیاری سطحی جویچه‌ای بود.

مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان

راندمان کلاسیک (Keller *et al.*, 1996)، از رابطه‌های ۱ و ۲ تعیین می‌شود:

$$CE = \frac{NET}{I} \quad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

$$NET = ET_a - P_e \quad \text{(رابطهٔ ۲)}$$

که در آن‌ها: NET تبخیر و تعرق خالص، I مقدار آب ورودی براساس مقدار آب برداشت‌شده، ETa تبخیر و تعرق واقعی گیاه و Pe بارش مؤثر است.

مفهوم جدید راندمان را نخستین‌بار جنسن (Jensen, 1977) و با پیشنهاد تجدید نظر در راندمان کلاسیک و استفاده از شاخص راندمان خالص (NE) بیان کرد (رابطهٔ ۳).

$$NE = CE + Er(1 - CE) \quad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

که در آن: CE راندمان کلاسیک، CE-۱ ناکارایی کلاسیک به معنای درصدی از آب برداشتی که برای تأمین نیاز تبخیر و تعرق واقعی گیاهان مصرف نشده است، Er درصدی از ناکارایی کلاسیک (CE-۱) که به‌طور بالقوه برای استفادهٔ مجدد در هر جایی از سیستم هیدرولوژیکی در دسترس است. *et al.* (1995) Keller و Keller and Keller (1996) مفهوم راندمان مؤثر (EE) را توسعه داده‌اند (رابطهٔ ۴).

$$EE = \frac{NET}{I - O(R)} \quad \text{(رابطهٔ ۴)}$$

که در آن: I جریان آب در نقطهٔ برداشت، O جریان آب خروجی از کاربری مورد نظر که برابر رواناب و تلفات نفوذ عمقی است، R درصد خروجی قابل استفادهٔ مجدد و NET تبخیر و تعرق خالص است که از رابطهٔ ۲ به‌دست می‌آید.

راندمان کلاسیک با افزایش سطح یا شرایط مرزی سیستم کاهش پیدا می‌کند، زیرا با افزایش سطح تلفات آب افزایش می‌یابد، اما در راندمان خالص یا سایر فرمول‌های نئوکلاسیک برعکس این حالت اتفاق می‌افتد.

همان‌طور که مطرح شد، Er درصدی از ناکارایی کلاسیک (CE-۱) است که به‌طور بالقوه برای استفادهٔ مجدد در هر جایی از سیستم هیدرولوژیکی قابل دسترس است. بنابراین، تعیین و مشخص کردن مقدار دقیق آن، که از اهمیت بالایی برخوردار است، در گرو تعیین صحیح درصدی از تلفات است که مفید است. تلفات کل به سه دستهٔ عمده از نظر مفید و غیرمفید بودن تقسیم می‌شود. دستهٔ اول، تلفات تبخیر و بادبردگی است که فقط در سیستم‌های آبیاری بارانی وجود دارند. این‌گونه تلفات، تلفات غیرمفیدی‌اند که قابل استفاده نیستند و در صورت نبود مدیریت صحیح، سهم زیادی را به خود اختصاص می‌دهند. دستهٔ دوم تلفات، رواناب است که بیشتر در سیستم‌های آبیاری سطحی وجود دارند. به منظور تعیین درصد مفیدبودن آن‌ها، رواناب حاصل در سیستم روندیابی می‌شود تا سرنوشت آب خارج‌شده تعیین شود. دستهٔ سوم تلفات، نفوذ عمقی است. در مفهوم کلاسیک راندمان، آبی را که از سیستم توسعهٔ ریشه خارج می‌شود تلفات می‌نامند. اما در مفهوم جدید راندمان، همهٔ این تلفات غیرمفید نیست، زیرا مقداری از این آب، به‌خصوص در سیستم‌های سطحی، صرف کنترل شوری در ناحیهٔ توسعهٔ ریشه می‌شود و بخشی نیز ممکن است زهکشی شود و دوباره به چرخهٔ آبی بازگردد. از سویی، مقداری از این آب می‌تواند از زیر ناحیهٔ ریشه به درون ناحیه حرکت کند و مورد استفادهٔ گیاه قرار گیرد (آب برگشتی).

مراحل اجرای کار

جدول۱ مشخصات مزارع و سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده را نشان می‌دهد. معیار انتخاب مزارع مطالعه‌شده وجود سیستم‌های آبیاری متنوع در آن‌ها و همکاری صاحبان آن‌ها جهت انجام‌دادن اندازه‌گیری‌ها بود. پس از مشخص‌کردن سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده، ارزیابی سیستم‌ها طی دو مرحله، اوایل و اواسط، از مرحلهٔ رشد در طول فصل زراعی ۱۳۹۰ـ۱۳۹۱، انجام شد. در این پژوهش، از روش نمونه‌برداری وزنی برای تعیین رطوبت خاک قبل از هر آبیاری استفاده شد. برای سیستم سطحی، با استفاده از آگر تعداد سه نمونه (ابتدا، وسط و انتها) در شیار، برای سیستم‌های عقربه‌ای و خطی در طول بال آزموده و برای سیستم بارانی کلاسیک در شبکهٔ مربعی ۶×۶ متر نمونه‌گیری شد. جزء آبشویی و نیاز آبشویی، LR و Dd،

Archive of SID

www.SID.ir

نیز براساس رابطه‌های ۵ و ۶ تعیین شد (Ayers and Westcot, 1985).

$$LR = \frac{EC_i}{5 \times EC_e - EC_i} \quad \text{(رابطهٔ ۵)}$$

$$D_d = LR \times D_i \quad \text{(رابطهٔ ۶)}$$

که در آن‌ها: ECi شوری آب آبیاری و ECe مقدار هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک است که مقدار آن برای ذرت ۱٫۸ دسی‌زیمنس بر متر، که همان آستانهٔ تحمل شوری ذرت است و Di عمق کل آبیاری است (Allen *et al.*, 1998).

برای تعیین شوری آب آبیاری از آب ورودی نمونه‌گیری و هدایت الکتریکی آن با استفاده از دستگاه شوری‌سنج قرائت شد. علاوه بر این، برای تعیین وضعیت کنترل شوریِ خاک در سیستم‌های آبیاریِ مطالعه‌شده و مقایسهٔ آن با مقدار آبشویی مورد نیاز محاسبه‌شده براساس آستانهٔ تحمل شوری گیاه (۱٫۸ دسی زیمنس بر متر)، از زیر ناحیهٔ توسعهٔ ریشه نمونه‌برداری خاک انجام و شوری عصارهٔ اشباع آن اندازه‌گیری شد.

به منظور اندازه‌گیری عمق توسعهٔ ریشه، ابتدا یک نمونه گیاه انتخاب و سپس نمونه از خاک به‌آرامی خارج شد و عمق آن با استفاده از خط‌کش در دو مرحله ارزیابی و تعیین شد (FAO, 1979). در سیستم آبیاری سطحی جویچه‌ای، مشخصات هندسی شیار از روش مقطع‌سنجی تعیین شد. اندازه‌گیری شکل سطح مقطع در سه نقطه به فواصل یکسان در طول ۱۰۰ متر از فارو انجام شد. برای اندازه‌گیری جریان ورودی به شیار از فلوم WSC استفاده شد. برای تعیین زمان پیشروی و پسروی، طول شیار به فواصل ۱۰ متری میخ‌کوبی شد. پس از قطع جریان ورودی به مزرعه، زمان ناپدید شدن آب در سطح مزرعه (زمان پسروی) در هریک از ایستگاه‌ها نیز یادداشت شد. در این پژوهش، از رابطهٔ کوستیاکف- لوئیس برای برآورد معادلهٔ نفوذ استفاده شد. در این آزمایش‌ها، سرعت نفوذ پایه از روش ورودی و خروجی (Walker and Skogerboe, 1987) و ضرایب رابطهٔ نفوذ کوستیاکوف- لوئیس با روش دونقطه‌ای (Elliot and Walker, 1982) تعیین شد. همچنین، عمق رواناب از اختلاف عمق آب ورودی با عمق آب نفوذیافته به‌دست آمد.

در سیستم‌های بارانی، برای اندازه‌گیری تلفات تبخیر و بادبردگی از روش پیشنهادشدهٔ Merrian and Keller (1978) و Merrian *et al.* (1980) استفاده شد. ظروف پلاستیکی با قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر با فاصلهٔ دو متر از یکدیگر در ارتفاع سایه‌انداز گیاه در طول یک بال برای سیستم‌های عقربه‌ای و خطی و یک شبکهٔ مربعی ۶×۶ متر بین آبپاش‌ها در سیستم کلاسیک قرار داده شد تا مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی از تفاضل آب جمع‌شده در این ظروف و آب خروجی از آبپاش‌ها تعیین شود. دبی آب خروجی از آبپاش‌ها به روش حجمی اندازه‌گیری شد. به دلیل فقدان رواناب در سیستم‌های آبیاری بارانی، عمق آب نفوذیافته به خاک از تفاضل آب خروجی از آب‌پاش‌ها و تلفات تبخیر و بادبردگی به‌دست آمد. برای تعیین تلفات نفوذ عمقی در همهٔ سیستم‌های آبیاری بررسی‌شده، ابتدا کمبود رطوبتی خاک (SMD) طبق رابطهٔ ۷ تعیین و عمق آب نفوذیافتهٔ مازاد بر آن به‌منزلهٔ تلفات نفوذ عمقی در نظر گرفته شد.

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_{ave}) \times \rho_b \times z_r \quad \text{(رابطهٔ ۷)}$$

که در آن: θ_{fc} رطوبت جرمی در ظرفیت زراعی، θ_{ave} میانگین رطوبت جرمی قبل از آبیاری، ρb چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و z_r عمق توسعهٔ ریشه است. با توجه به مشخص‌شدن همهٔ عوامل یادشده، مقدار تبخیر- تعرق واقعی (ETa) با استفاده از بیلان آبی با فرض ناچیز بودن تغییرات رطوبتی خاک قبل و بعد از آبیاری (Δs=0)، تعیین شد (رابطهٔ ۸).

$$ET_a = I - D_p + R + EDL \quad \text{(رابطهٔ ۸)}$$

که در آن: I عمق آب آبیاری، D_p مقدار تلفات نفوذ عمقی، R رواناب، EDL تلفات تبخیر و بردگی است که این مقدار برای سیستم‌های سطحی برابر صفر است.

در منطقهٔ مطالعه‌شده، رواناب حاصل در آبیاری جویچه‌ای، به وسیلهٔ آبیار در قطعات پایینی استفاده شده و سرانجام به کانال آبیاری ریخته شده بود و به چرخهٔ آبی شبکه اضافه می‌شد که به‌منزلهٔ تلفات مفید رواناب در نظر گرفته شد. در ارزیابی حاضر، عمق آب آبشویی، که از روابط ۵ و ۶ به‌دست آمد، به‌منزلهٔ سهم مفید از تلفات نفوذ عمقی در نظر گرفته شد. همچنین، به‌دلیل مشکلات و سختی برای اندازه‌گیری آب برگشتی در شرایط مزرعه، برای همهٔ سیستم‌ها پنج درصد از نفوذ عمقی به‌منزلهٔ آب برگشتی فرض شد. بنابراین، حجم مفید رواناب و نفوذ عمقی از مجموع حجم رواناب، حجم آب آبشویی و حجم آب برگشتی به ناحیهٔ ریشه محاسبه شد و درنهایت Er به‌منزلهٔ نسبت حجم مفید رواناب و نفوذ عمقی به حجم کل تلفات برای هریک از سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده محاسبه شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. مشخصات مزارع انتخاب‌شده و سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده

شمارهٔ مزرعه	۱	۲	۳	۴	۵
نوع سیستم آبیاری محصول کشت‌شده	سطحی- جویچه‌ای ذرت علوفه‌ای	عقربه‌ای- آبپاش متحرک ذرت علوفه‌ای	کلاسیک با آبپاش متحرک ذرت علوفه‌ای	عقربه‌ای- آبپاش ثابت ذرت علوفه‌ای	خطی ذرت علوفه‌ای
مساحت (ha)	۱۳	۴۶	۳۱	۳۰	۴۰
بافت خاک	لوم	شنی- رسی- لوم	شنی- رسی- لوم	شنی- رسی- لوم	شنی- لوم
ρ_b (g/cm^3)	۱/۴۷	۱/۴	۱/۴۲	۱/۳۹	۱/۴
FC (درصد وزنی)	۲۲	۱۹	۲۰	۲۰	۱۹
تعداد بال	-	۸	-	۶	۱۰
طول بال	-	۴۸	-	۴۸	۵۳
ارتفاع آبپاش از سطح زمین (cm)	-	۱۲۰-۳۰۰	۱۰۰	۱۷۰-۲۰۰	۲۵۰-۳۰۰

نتایج و بحث

آنالیز و ارزیابی پارامترهای بیلان آب آبیاری

پس از جمع‌آوری داده‌های مزرعه‌ای در سیستم‌های مطالعه‌شده، پارامترهای مورد نیاز برای ارزیابی سیستم‌های آبیاری محاسبه شد (جدول۲). همان‌گونه که در جدول۲ مشاهده می‌شود، شوری آب ورودی برای همهٔ سیستم‌های مطالعه‌شده کمتر از یک دسی‌زیمنس بر متر است و نیاز آبشویی مورد نیاز محاسبه‌شده برای همهٔ سیستم‌ها (جدول۲، سطر۹) می‌تواند به وسیلهٔ نفوذ عمقی (جدول۲) که در سیستم‌های آبیاری به‌منزلهٔ تلفات شناخته می‌شود، جبران شود. وضعیت کنترل شوری خاک در سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده (جز آبشویی اندازه‌گیری‌شده) و مقایسهٔ آن با مقدار آبشویی مورد نیاز محاسبه‌شده، بیانگر آبشویی بیش از نیاز است (جدول۲، سطر۱۰) که دلیل آن اعمال عمق زیاد آبِ آبیاری است. بنابراین، می‌توان آن را به‌منزلهٔ آبشویی غیرمفید در نظر گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که در همهٔ سیستم‌های آبیاریِ بررسی‌شده عمق آب آبیاری از کمبود رطوبتیِ خاک بسیار بیشتر بوده است (جدول۲، سطر۴)، که این وضعیت نشان‌دهندهٔ مدیریت ضعیف در سیستم‌ها و درنتیجه راندمان بسیار پایین است. این وضعیت با اعمال عمق آب ورودی با توجه به کمبود رطوبت خاک و نیاز آبیِ گیاه در هر مرحله از رشد و همچنین نیاز آبشویی مورد نیاز قابل حل است و اعمال این مدیریت در سیستم‌های آبیاری بارانی نسبت به سطحی عملی‌تر است. مقدار رواناب در سیستم سطحی جویچه‌ای بررسی‌شده در مرحلهٔ دوم ارزیابی کمتر از مرحلهٔ اول است (جدول۲، سطر۵) که علت آن می‌تواند عمق آب آبیاری کمتر (جدول۲، سطر۴) و توسعهٔ ریشهٔ گیاه در مرحلهٔ دوم باشد. به‌رغم عمق آبیاری زیادتر از نیاز آبی گیاه در سیستم‌های بارانی، به دلیل اعمال شخم عمود در جهت شیب زمین، رواناب در این سیستم‌ها وجود نداشت.

تلفات تبخیر و بادبردگی در سیستم عقربه‌ای با آبپاش متحرک نسبت به سایر سیستم‌ها کمتر بوده و حتی در مرحلهٔ دوم از طول رشد این مقدار به صفر رسیده است (جدول۲، سطر۱۱). دلیل آن این است که در سیستم یادشده آبپاش‌ها در ابتدا در فاصلهٔ ثابتی از زمین قرار داشتند و با رشد گیاه، آن‌ها در راستای عمودی به سمت بالا جابه‌جا و در سطح کانوپی گیاه قرار می‌گرفتند تا تلفات تبخیر و بادبردگی به مقدار ناچیزی (صفر) برسد. از آنجا که تلفات تبخیر و بادبردگی جزء تلفات غیرمفید در سیستم‌های بارانی محسوب می‌شوند، این کار می‌تواند روشی مدیریتی در جهت حفظ آب باشد. بیشترین سهم تلفات تبخیر و بادبردگی مربوط به سیستم خطی است که مقدار آن در مرحلهٔ اولیهٔ رشد گیاه بیشتر است. دلیل آن می‌تواند ارتفاع زیاد آبپاش‌ها از سطح کانوپی (جدول۱) و تأثیر پارامترهای هواشناسی باشد.

ارزیابی سیستم‌های آبیاری با مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان

الف) راندمان کلاسیک

راندمان کلاسیک در سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده ارزیابی شد. جدول۳ وضعیت ارزیابی سیستم‌ها با مفهوم کلاسیک راندمان را نشان می‌دهد. برای سیستم سطحی- جویچه‌ای راندمان بسیار پایینی برای هر دو مرحله به‌دست آمده (۵/۹ و ۲۷/۸ درصد) که مقدار آن برای مرحلهٔ اول تقریباً یک‌پنجم راندمان آبیاری در مرحلهٔ دوم است. کمبود رطوبتی خاک در مرحلهٔ اول ارزیابی، حدود ۲۵۰متر مکعب بر هکتار بوده است (جدول۲) و این در حالی است که آب ورودی به جویچه در این مرحله ۴۲۲۶ متر مکعب بر هکتار بوده که این مقدار با توجه به عمق ریشهٔ کم در

Archive of SID
www.SID.ir

مراحل اولیهٔ رشد بسیار زیاد است. در مرحلهٔ اول رشد، نحوه و مدیریت آبیاری توسط کشاورزان و آبیاران در منطقهٔ مطالعه‌شده بر این اساس است که آب ورودی به شیار زمانی قطع می‌شود که آب یا خیسی در مرکز پشته ظاهر شود و به‌اصطلاح محلی آب «خی» بردارد و این‌گونه تصور می‌شود که اگر این کار صورت نگیرد، گیاه به‌خوبی سبز نمی‌شود و نتیجهٔ مورد انتظارشان حاصل نمی‌شود.

جدول ۲. پارامترهای بیلان آب آبیاری اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده در سیستم‌های آبیاریِ مطالعه‌شده

شمارهٔ سطر	نوع سیستم	سطحی- جویچه‌ای		عقربه‌ای- آبپاش متحرک		عقربه‌ای- آبپاش ثابت		خطی		کلاسیک ثابت	
		اوایل	اواسط	اوایل	اواسط	اوایل	اواسط	اوایل	اواسط	اوایل	اواسط
۱	مرحلهٔ رشد										
۲	ارتفاع گیاه (cm)	۲۰	۱۵۰	۱۰	۱۲۲	۱۰	۱۲۰	۱۳	۱۵۰- ۱۲۰	۶۰	۲۰۰
۳	SMD (m^3/ha)	۲۵۰	۸۴۱	۱۱۲	۳۳۶	۱۱۱٫۲	۴۱۷	۱۱۳٫۴	۴۴۱	۳۱۲٫۴	۷۰۲٫۹
۴	حجم آب ورودی (m^3/ha)	۴۲۲۶	۳۰۲۴	۳۲۳	۲۴۱٫۸	۴۰۰	۸۸۵	۹۶۵	۹۶۷	۹۱۵٫۵	۹۱۵٫۶
۵	رواناب (m^3/ha)	۱۱۳۴	۹۷۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	نفوذ عمقی (m^3/ha)	۲۸۴۲٫۱	۱۲۰۹٫۲	۱۷۸	۰	۲۲۸٫۸	۳۴۳	۵۰۱٫۶	۴۰۹	۴۹۲٫۵	۱۶۷٫۱
۷	EC_i (dS/m)	۰٫۸۸	۰٫۸۷	۰٫۹۵	۰٫۹۳	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۵۶	۰٫۵۶	۰٫۷۷	۰٫۷۷
۸	EC_d (dS/m)	۱٫۱	۱٫۴	۱٫۰۴	۱٫۰۴	۱	۱٫۶	۰٫۷	۰٫۹	۱٫۲	۱٫۵
۹	LR محاسبه‌شده	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۹	۰٫۰۹
۱۰	LR اندازه‌گیری‌شده	۰٫۱۹	۰٫۱۴	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۱۹	۰٫۱۱	۰٫۱۹	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۱
۱۱	تلفات تبخیر و بادبردگی (m^3/ha)	-	-	۳۳	۰	۶۰	۱۲۵	۳۵۰	۱۱۷	۱۱۰٫۵	۴۵٫۶
۱۲	ET_a (m^3/ha)	۲۴۹٫۹	۸۴۰٫۸	۱۱۲	۲۴۱٫۸	۱۱۱٫۲	۴۱۷	۱۱۳٫۴	۴۴۱	۳۱۲٫۴	۷۰۲٫۹

در سیستم عقربه‌ای با آبپاش متحرک، راندمان کلاسیک در مرحلهٔ اول (۳۴٫۷درصد) نسبت به راندمان قابل انتظار از سیستم‌های بارانی بسیار پایین‌تر بود (جدول۳) که بیانگر مدیریت بسیار ضعیف است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مرحلهٔ اول، ۱۷۸ متر مکعب بر هکتار تلفات نفوذ عمقی وجود دارد که این مقدار را می‌توان با مدیریت صحیح بسیار راحت‌تر از سیستم‌های آبیاری سطحی کنترل کرد. یکی از اهداف اصلی در توسعهٔ این سیستم‌ها کاهش تلفات، به‌خصوص تلفات نفوذ عمقی نسبت به سیستم‌های سطحی، است. اما همان‌طور که در عمل مشاهده می‌شود، این تلفات باز هم وجود دارند. در این سیستم‌ها، اگر با توجه به کمبود رطوبتیِ خاک و دورهٔ رشد گیاه عمق آبیاری محاسبه و اعمال شود، می‌توان این‌گونه تلفات را، که بیشتر در مراحل اولیهٔ دورهٔ رشد به‌دلیل عمق توسعهٔ ریشهٔ کم وجود دارند، تا حد امکان کاهش داد و حتی به صفر رساند. در ارزیابی مرحلهٔ دوم، همان‌طور که مشاهده می‌شود، راندمان با توجه به نداشتن تلفات تبخیر و بادبردگی به صد درصد رسیده است، اما با توجه به کمبود رطوبتیِ خاک می‌توان نتیجه گرفت عمق نفوذیافته نتواسته کمبود رطوبتی خاک را تأمین کند که باز هم بیانگر ضعف مدیریت سیستم است.

در سیستم عقربه‌ای با آبپاش ثابت، در هر دو مرحله راندمان پایینی برای سیستم به‌دست آمد (۲۷٫۸ و ۴۷٫۱ درصد) (جدول۳). در مرحلهٔ اول، عمق آبیاری در حدود چهار برابر کمبود رطوبتی خاک اعمال شده است که بیش از نصف آن صرف تلفات نفوذ عمقی و حدود ۱۵درصد آن صرف تلفات تبخیر و بادبردگی به‌دلیل ارتفاع زیاد آبپاش‌ها از سطح کانوپی گیاه (جدول۱) شده است. همچنین، در مرحلهٔ دوم، بیش از

Archive of SID

www.SID.ir

نصف عمق آب ورودی صرف تلفات نفوذ عمقی و تبخیر و بادبردگی شده است.

در سیستم خطی، راندمان در هر دو مرحله نسبت به سایر سیستم‌های بارانی کمتر است؛ به گونه‌ای که مقدار آن در مرحلهٔ اول بسیار پایین و ۱۱٫۸درصد است (جدول۳) که از دلایل آن می‌توان به عمق آب آبیاری بسیار بیشتر از کمبود رطوبتی خاک، تلفات تبخیر و بادبردگی بسیار زیاد به‌دلیل ارتفاع بیش از حد آبپاش‌ها از سطح کانوپی و تلفات نفوذ عمقی در حدود نصف عمق آب آبیاری اشاره کرد. در سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک، وضعیت بهتری از راندمان، به‌خصوص در مرحلهٔ دوم، به‌دست آمد (جدول۳) که دلیل آن می‌تواند به‌کاربردن عمق آب آبیاری متناسب با کمبود رطوبتی خاک باشد که به تبع آن به کاهش تلفات نفوذ عمقی منجر شده است.

با توجه به عمق آب آبیاری زیاد، در همهٔ سیستم‌های بارانی مطالعه‌شده، انتظار می‌رود در این سیستم‌ها رواناب هم وجود داشته باشد، اما فاروبندی (جوی و پشته) خاک در جهت عمود بر شیب زمین موجب شده بود رواناب در فارو حرکت کُند و از مزرعه خارج نشود. این کار باعث افزایش فرصت نفوذ و به تبع آن افزایش نفوذ عمقی می‌شود (جدول ۲).

ب) مفهوم راندمان جدید

در جدول۴، سهم مفید تلفات و مقادیر Er یا R برای سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده ارائه شده است. ترم R بیان‌شده در راندمان مؤثر همان مفهوم ترم Er در راندمان خالص را دارد که می‌توان هر دو را برابر یکدیگر خواند. براساس نتایج به‌دست‌آمده مقدار Er یا R در سیستم‌های آبیاری بررسی‌شده در مرحلهٔ اول رشد، در بازهٔ ۱۰ـ۴۴ درصد و در مرحلهٔ دوم رشد در بازهٔ ۱۶ـ۶۲ درصد است که بیشترین مقادیر آن در هر دو مرحلهٔ ارزیابی به سیستم آبیاری سطحی جویچه‌ای مربوط است.

جدول ۳. ارزیابی سیستم‌های آبیاری با مفاهیم کلاسیک و جدید

مفاهیم راندمان	راندمان سیستم (درصد)									
	سطحی- جویچه‌ای		عقبه‌ای- آبپاش متحرک		عقبه‌ای- آبپاش ثابت		خطی		کلاسیک- آبپاش متحرک	
	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲
کلاسیک	۵٫۹	۲۷٫۸	۳۴٫۷	۱۰۰	۲۷٫۸	۴۷٫۱	۱۱٫۸	۴۵٫۶	۳۴٫۱	۷۶٫۸
خالص	۴۷٫۱	۷۲٫۷	۴۹٫۲	۱۰۰	۴۰٫۴	۵۸٫۸	۲۱	۵۴٫۳	۴۶٫۲	۸۷
مؤثر	۱۰	۵۰٫۵	۴۰٫۶	۱۰۰	۳۱٫۸	۵۳٫۴	۱۳	۵۰	۳۸٫۸	۸۵٫۶

جدول۴. سهم مفید تلفات و مقدار Er برای سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده

پارامتر	سیستم‌های ارزیابی‌شده									
	سطحی‌جویچه‌ای		عقبه‌ای- آبپاش متحرک		عقبه‌ای- آبپاش ثابت		خطی		کلاسیک- آبپاش متحرک	
	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲	مرحلهٔ ۱	مرحلهٔ ۲
حجم کل تلفات (m^3/ha)	۳۹٫۵۸	۲۱۸۳٫۲	۲۱۱	۰	۲۸۸٫۸	۴۶۸	۸۵۱٫۶	۵۲۶	۶۰۳	۲۱۲٫۷
حجم مفید تلفات (m^3/ha)	۱۷۳۳٫۲	۱۳۵۸٫۱	۴۷	۰	۵۰٫۵	۱۰۳٫۵	۸۹٫۱	۸۴٫۶	۱۱۰٫۳	۹۴
Er=R (%)	۴۴	۶۲	۲۲	۰	۱۷	۲۲	۱۰	۱۶	۱۸	۴۴

مقادیر راندمان خالص سیستم‌های آبیاری بررسی‌شده در مرحلهٔ اول رشد در بازهٔ ۲۱ـ۴۹٫۲ درصد و در مرحلهٔ دوم رشد در بازهٔ ۵۴٫۳ـ۱۰۰ درصد است که بیشترین تفاوت آن نسبت به مقادیر راندمان کلاسیک در هر دو مرحلهٔ ارزیابی، به سیستم آبیاری سطحی- جویچه‌ای مربوط است (۴۱٫۲ و ۴۴٫۹ درصد افزایش به‌ترتیب در مرحلهٔ ۱ و ۲ ارزیابی). همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، مفهوم جدید راندمان همهٔ تلفات موجود در مفهوم کلاسیک را تلفات نمی‌داند و بر این اصل استوار است که آبی که دوباره استفاده شود، تلفات محسوب نمی‌شود.

مقادیر راندمان مؤثر سیستم‌های آبیاری بررسی‌شده در مرحلهٔ اول رشد در بازهٔ ۱۰ـ۴۰٫۶ درصد و در مرحلهٔ دوم رشد در بازهٔ ۵۰ـ۱۰۰ درصد است که بیشترین تفاوت آن نسبت به مقادیر راندمان کلاسیک در مرحلهٔ اول ارزیابی به سیستم عقبه‌ای آبپاش متحرک و در مرحلهٔ دوم ارزیابی به سیستم

Archive of SID

www.SID.ir

آبیاری سطحی جویچه‌ای مربوط است (۵/۹ و ۲۲/۷ درصد افزایش به‌ترتیب در مرحلهٔ اول و دوم ارزیابی).

نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳ نشان می‌دهد که در همهٔ سیستم‌های آبیاری بررسی‌شده و در هر دو مرحلهٔ ارزیابی، مقادیر راندمان مؤثر نسبت به راندمان خالص کمتر است که این تفاوت از نظر ریاضی قابل اثبات و تأیید است. با استفاده از رابطهٔ ۹ و با بازنویسی روابط ۳ و ۴، روابط ۱۰ و ۱۱ به‌دست می‌آید.

$$Er = R = \frac{BLoss}{O} \quad \text{(رابطهٔ ۹)}$$

$$NE = \frac{NET + BLoss}{I} \quad \text{(رابطهٔ ۱۰)}$$

$$EE = \frac{NET}{I - BLoss} \quad \text{(رابطهٔ ۱۱)}$$

در روابط ۹ تا ۱۱، BLoss تلفات مفید است. از نظر ریاضی، در شرایطی که مقدار تلفات مفید صفر است یا در شرایطی که مقدار تلفات مفید برابر با تلفات کل است (مقدار Er یا R ۱۰۰ درصد است)، مقدار عددی راندمان خالص و راندمان مؤثر برابر می‌شود که البته امکان برقراری این شرایط در سیستم‌های آبیاری در عمل بسیار کم است. در حالت اول، مقدار راندمان خالص و مؤثر با راندمان کلاسیک برابر است و در حالت دوم مقدار راندمان خالص و مؤثر ۱۰۰ درصد می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳ نشان می‌دهد که تفاوت راندمان خالص و راندمان مؤثر در سیستم آبیاری سطحی- جویچه‌ای بسیار چشمگیر است، به گونه‌ای که ۳۷/۱ و ۲۲/۲ درصد تفاوت به‌ترتیب در مرحلهٔ اول و دوم ارزیابی به‌دست آمده است. در این سیستم آبیاری، تفاوت مقادیر راندمان کلاسیک و راندمان خالص در مرحلهٔ اول و دوم ارزیابی به‌ترتیب ۴۱/۲ و ۴۴/۹ درصد بوده است و این در حالی است که تفاوت مقادیر راندمان کلاسیک و راندمان مؤثر در مرحلهٔ اول و دوم ارزیابی به‌ترتیب ۴/۱ و ۲۲/۷ درصد بوده است. نتایج به‌دست‌آمده در جدول۲ نشان داد که در سیستم سطحی- جویچه‌ای در هر دو مرحلهٔ ارزیابی مقدار آب آبیاری ورودی بسیار زیادتر از نیاز آبی بوده است و مقدار تلفات کل و مفید در مقایسه با مقدار آب ورودی درخور ملاحظه است (جدول۴). با توجه به بیان ریاضی روابط ۱۰ و ۱۱، چنانچه مقدار تلفات مفید در مقایسه با آب آبیاری ورودی درخور ملاحظه باشد، راندمان خالص و مؤثر تفاوت زیادی با یکدیگر خواهد داشت. در چنین وضعیتی، راندمان مؤثر هم‌زمان با لحاظ‌کردن مفهوم استفادهٔ مجدد از تلفات مفید، بیان صریحی در مورد مناسب بودن یا نبودن مدیریت آبیاری در مزرعه دارد که به‌خوبی نامناسب‌بودن نحوهٔ انجام‌دادن آبیاری در سیستم آبیاری سطحی- جویچه‌ای را نشان داده است. این در حالی است که راندمان خالص فقط مفهوم استفادهٔ مجدد از تلفات مفید در مقیاس مکانی بزرگ‌تر از مزرعه را لحاظ کرده است و ضعف انجام‌دادن آبیاری در مزرعه را بیان نکرده است.

مقادیر راندمان مؤثر سیستم‌های آبیاری بارانی بررسی‌شده (جدول۳) نشان می‌دهد که به‌رغم لحاظ‌کردن درصد تلفات مفید در محاسبهٔ راندمان، همچنان مقادیر راندمان این سیستم‌ها مطلوب و رضایت‌بخش نیست که نشان‌دهندهٔ مدیریت بسیار ضعیف این سیستم‌هاست.

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی با هر دو روش کلاسیک و جدید نشان داد که سیستم‌های بارانیِ مطالعه‌شده به اعمال مدیریت صحیح آبیاری در جهت استفادهٔ بهینه از آب نیاز دارند. همان‌طور که مشاهده شد، در این پژوهش، دو نوع سیستم آبیاری عقربه‌ای وجود داشت که در آن‌ها نوع آبپاش‌ها متفاوت بودند. می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از آبپاش‌هایی که بتوانند متناسب با ارتفاع گیاه به‌صورت عمودی جابه‌جا شود و از تلفات تبخیر و بادبردگی، به‌خصوص در اوایل رشد گیاه، جلوگیری کنند، از جمله اقدامات مدیریتی در جهت کاهش تلفات آب در سیستم‌های آبیاری بارانی است. در همهٔ سیستم‌های آبیاری بررسی‌شده، مقادیر راندمان مؤثر نسبت به راندمان خالص کمتر به‌دست آمد و این تفاوت در شرایط افزایش تلفات آب در سیستم آبیاری فزونی می‌یابد. مفهوم راندمان مؤثر نشان داد که با لحاظ مفهوم استفادهٔ مجدد از تلفات مفید، بیان صریحی دربارهٔ مناسب بودن یا نبودن مدیریت آبیاری در مزرعه دارد؛ درحالی‌که مفهوم راندمان خالص ضعف انجام‌دادن آبیاری در مزرعه را بیان نمی‌کند. از نکات بارز در این پژوهش می‌توان به تحلیل کمی و کاربردی مفاهیم ارائه‌شده در مقایسه با تحقیقات گذشته اشاره کرد؛ بدین‌صورت که در تحقیقات گذشته عمدتاً به تئوری مسئله و مفاهیم پرداخته شده است.

REFERENCES

Food and Agriculture Organization (1979). Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Rome, Italy.

Huffaker, R. (2008). Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. Water Resources Research, 44.

Haie, N., & Keller, A.A. (2008). Effective efficiency as a tool for sustainable water resources management. American Water Resources Association, 44(4), 961–968.

Archive of SID
www.SID.ir

Jensen, M.E. (2007). Beyond irrigation efficiency. Irrigation Science, 25(3), 233–245.

Lankford, B., 2012. Fictions, fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficiency. Agric. Water Manage. 108, 27–38.

Lecina, S., Neale, C.M.U., Merkley, G.P., Dos Santos, C.A.C., (2011). Irrigation evaluationbased on performance analysis and water accounting at the bear river irrigationproject (USA). Agricultural Water Management. 98, 1349–1363.

Mateos, L. (2008). Identifying a new paradigm for assessing irrigation system performance. Irrigation Science, 27(1), 25–34.

Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A., & Kijne, J. (2010). Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. Agricultural Water Management, 97(4), 528–534.

Perry, C. (2007). Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations. Irrigation and Drainage, 56(4), 367–378.

Seckler, D., Molden, D., & Sakthivadivel, R. (2003). The concept of efficiency in waterresources management and policy. In: Kijne, W., Barkers, R., Molden, D. (Eds.), Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. CAB International, Wallingford, United Kingdom, p. 37–51.

van Halsema, G. and Vincent, L., 2012. Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. Agric. Water Manage. 108, 9-15.

Ward, F. A., & Pulido-Velázquez, M. (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. Proceedings of the National Academy of Science, 105(47), 18215–18220

Archive of SID

www.SID.ir