DOI: 10.22059/ijswr.2020.309311.668724 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۱، بهمن ماه ۱۳۹۹ (ص۲۷۷۲-۲۷۶۱)

Field Evaluation of Furrow Irrigation Performance in Corn Fields and Presentation of Management Solutions using WinSRFR Model (Case Study: Dezful)

OMID RAJA[1], HADI REZAII RAD[1*], HAMED EBRAHIMIAN[1]
1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
(Received: Sep. 5, 2020- Revised: Sep. 26, 2020- Accepted: Sep. 29, 2020)

ABSTRACT

Studies have shown that irrigation efficiency is low in Iran and Khuzestan province. However, it is essential to increase irrigation efficiency and reduce irrigation water losses in the field according to the water resources status. The main purpose of this study was to evaluate the performance of furrow irrigation in the fields of Shahid Beheshti Agriculture and Industry Company in Dezful and to offer some proposed solutions using optimization of design parameters by WinSRFR model. Three fields in Deylam region and three fields in BC region were selected to determine the irrigation efficiency. The results showed that the deep percolation and runoff losses in the fields of Deylam region varied between 4.9 to 81.5% and 24.3 to 62.3%, respectively. These values were detemined at 3.2 to 49.2% and 5.6 to 62.3% in the fields of BC region, respectively. Overall, the results showed that the amount of runoff losses is more than the amount of deep percolation losses in all the studied fields in Deylam and BC regions. However, despite the high losses, some fields were under deficit irrigation and their water requirement efficiency was less than 100%. The application efficiency in all fields varied between 13-45%. Generally, investigations showed that the management of the amount and duration of irrigation was not appropriate; this is due to the lack of awareness of farmers about the amount of water needed and cut-off of the inflow at the appropriate time. After evaluating the current situation, the presentation of management solutions using the WinSRFR model showed that if proper management of the length, slope and flow rate to the furrows is done, the water application efficiency will be significantly increased 35.8% (from 29.8% to 65.6%) and runoff losses decreased 49.7% (from 59.7% to 10%).

Keywords: Application Efficiency, Surface Irrigation, Deep Percolation, Runoff, Simulation.

* Corresponding Author: hadi.rezaii@ut.ac.ir

ارزیابی مزرعه‌ای عملکرد آبیاری جویچه‌ای در مزارع ذرت و ارائه راهکارهای مدیریتی با استفاده از مدل WinSRFR (مطالعه موردی: دزفول)

امید رجا[1]، هادی رضایی‌راد[*1] و حامد ابراهیمیان[1]

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۸)

چکیده

بررسی‌ها نشان داده است که راندمان آبیاری سطحی در کشور، به‌ویژه در استان خوزستان، نسبتاً پایین است. این در حالی است که افزایش راندمان آبیاری و کاهش تلفات آب آبیاری، با توجه به وضعیت منابع آب کشور، امری ضروری است. هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی عملکرد آبیاری جویچه‌ای در اراضی شرکت کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول و ارائه راهکارهای پیشنهادی از طریق بهینه‌سازی پارامترهای طراحی توسط مدل WinSRFR بود. به منظور دستیابی به هدف، سه مزرعه در منطقه دیلم و سه مزرعه در منطقه BC انتخاب شد. نتایج نشان داد که تلفات نفوذ عمقی و رواناب در مزارع منطقه دیلم به ترتیب بین ۴/۹ تا ۸۱/۵ و ۲۴/۳ تا ۶۲/۳ درصد متغیر بود. این مقادیر در مزارع منطقه BC به‌ترتیب ۳/۲ تا ۴۹/۲ و ۵/۶ تا ۶۲/۳ درصد تعیین شد. نتایج همچنین نشان داد که در کلیه مزارع مورد بررسی در دو منطقه دیلم و BC مقدار تلفات رواناب بیش‌تر از مقدار تلفات نفوذ عمقی است. این در حالیست که برخی مزارع با وجود تلفات بالا، کم آبیاری شده بودند و راندمان نیاز آبی آنها کمتر از ۱۰۰ درصد تعیین شد. راندمان کاربرد در کلیه مزارع بین ۴۵-۱۳درصد متغیر بود. به‌طور کلی بررسی‌ها نشان داد که مدیریت مقدار و مدت آبیاری بر اساس شکل و مشخصات اراضی مناسب نبوده است، این موضوع به دلیل عدم آگاهی آبیاران از مقدار آب مورد نیاز و عدم قطع جریان ورودی در زمان مناسب است. پس از ارزیابی وضعیت موجود، ارائه راهکارهای مدیریتی با استفاده از مدل WinSRFR نشان داد در صورتی که مدیریت مناسبی بر طول، شیب و دبی ورودی به جویچه‌ها صورت پذیرد، راندمان کاربرد آب به میزان ٪۳۵/۸ (از ٪۲۹/۸ تا ٪۶۵/۶) افزایش و تلفات رواناب به میزان ٪۴۹/۷ (از ٪۵۹/۷ به ٪۱۰) کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: راندمان کاربرد، آبیاری سطحی، نفوذ عمقی، رواناب، شبیه‌سازی.

مقدمه

کشور ایران در کمربند خشک جهان قرار دارد و این امر سبب شده تا وضعیت منابع آبی آن نگران‌کننده باشد. از آنجایی‌که بخش اعظم منابع آبی در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، توجه به مدیریت مصرف و ارتقاء راندمان آبیاری امری مهم و ضروری به نظر می‌رسد (Soleimani and Hassanli, 2008). آبیاری سطحی متداول‌ترین و قدیمی‌ترین سامانه آبیاری می‌باشد و این‌گونه تصور می‌شود که به تکنولوژی پیشرفته، ابزار و برنامه پیچیده نیازی ندارد؛ در نتیجه این موضوع سبب شده راندمان مطلوبی در این سامانه مشاهده نشود. شناخت دقیق، طراحی و مدیریت مناسب می‌تواند سبب بهبود عملکرد و راندمان این سامانه آبیاری شود (Alizadeh, 2004).

اهمیت جمع‌آوری اطلاعات و انجام مطالعات برای تخمین راندمان سامانه‌های آبیاری و ارزیابی عملکرد آن‌ها در کشور کاملاً واضح و ضروری است. استفاده از این اطلاعات می‌تواند در سطح ملی کمک شایانی در برنامه‌ریزی آب موردنیاز بخش کشاورزی و افزایش درصد موفقیت پروژه‌های آبیاری داشته باشد و موجب بهبود و اصلاح راندمان آبیاری در سطح کشور شود. به عبارتی هدف نهایی از ارزیابی عملکرد سامانه، دستیابی به عملکرد مؤثر و کارآمد به وسیله مدیریت مناسب‌تر است.

Abbasi and Sohrab (2011) گزارش کردند که از کلیه مطالعات صورت گرفته روی سامانه‌های آبیاری، آبیاری جویچه‌ای ۳۷/۸ درصد را نسبت به سایر روش‌ها به خود اختصاص داده است و راندمان کاربرد و یکنواختی آن‌ها به‌ترتیب ۴۸/۶ و ۷۵/۷ درصد گزارش شد. Abbasi et al. (2017) متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری در ایران را از ۲۲/۵ تا ۸۵/۵ درصد (به‌طور متوسط ۵۶/۰ درصد) و راندمان کل آب آبیاری را از ۳۶ تا ۴۶ درصد متغیر گزارش نموده‌اند. همچنین میانگین راندمان کل آبیاری در کشور، تقریباً با میانگین آن در کشورهای در حال توسعه (متوسط حدود ۴۵ درصد) برابر است ولی کمتر از کشورهای توسعه یافته

* نویسنده مسئول: hadi.rezaii@ut.ac.ir

(متوسط حدود ۶۰ درصد) است. همچنین لازم به ذکر است که از سال ۱۳۷۵ تا سال ۱۳۹۴ راندمان کل آبیاری، هر سال حدود یک درصد مطابق با مقادیر پیش‌بینی شده در برنامه های توسعه‌ای کشور رشد داشته است. از علل مهم افزایش راندمان در این دهه می‌توان به تجهیز و نوسازی اراضی، افزایش میزان آگاهی‌های بهره‌بردارن درباره مسایل آب و خاک، گسترش شبکه‌های آبیاری و توسعه سامانه‌های آبیاری نوین اشاره کرد.

مطالعات مختلفی در خصوص ارزیابی راندمان آبیاری جویچه‌ای انجام شده است. Smith et al. (2005) در کوئینزلند استرالیا با مطالعات وسیع روی ۷۹ مورد آبیاری جویچه‌ای که زیر کشت پنبه قرار داشتند راندمان کاربرد را ۱۷ تا ۱۰۰ و به‌طور متوسط ۴۸ درصد گزارش کرده‌اند. Kanuni (2007) ارزیابی راندمان آبیاری جویچه‌ای تحت مدیریت‌های مختلف در منطقه مغان را مورد مطالعه قرار داد. در این پژوهش، ارزیابی راندمان آبیاری جویچه‌ای تحت مدیریت‌های مختلف خصوصی و دولتی با کشت‌های ذرت و چغندرقند انجام شد. متوسط بازده کاربرد آب برای مزرعه ذرت تحت مدیریت بخش دولتی و خصوصی به‌ترتیب ۲۴/۹ و ۶۵/۳ درصد برآورد شد. بالا بودن نفوذ عمقی و مدیریت نامناسب آبیاری در مزرعه از دلایل پایین بودن راندمان آبیاری در منطقه مغان گزارش شد. Riahifarsani et al. (2014) با هدف ارزیابی سیستم‌های آبیاری جویچه‌ای در مزارع تحت کشت سیب‌زمینی در دشت بروجن و ذرت در دشت‌های خانمیرزا و شهرکرد، راندمان‌های کاربرد، کفایت و راندمان کل آبیاری در این دشت‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق متوسط راندمان کاربرد آب و کفایت سامانه‌های آبیاری جویچه‌ای به ترتیب در دشت بروجن، ۴۹/۲۷ و ۹۸/۲۲ درصد، در دشت خانمیرزا، ۵۵/۴۱ و ۶۰/۲ درصد و در دشت شهرکرد، ۶۱/۴۱ و ۸۴/۲۴ درصد گزارش شد. در تحقیق Kifle et al. (2008) که به‌منظور مقایسه دو روش آبیاری موجی و آبیاری با دبی پیوسته انجام شده بود، بالاترین و پایین‌ترین راندمان کاربرد به میزان ۶۰ و ۴۶ درصد، بیش‌ترین و کم‌ترین توزیع یکنواختی به میزان ۸۷ و ۶۸ درصد و بالاترین و پایین‌ترین راندمان ذخیره به میزان ۸۹ و ۷۸ درصد گزارش شد. Roldán-Cañas et al. (2015) در پژوهشی به‌منظور توصیف و ارزیابی آبیاری جویچه‌ای زیگزاگ در بولیوی، متوسط بازده کاربرد آب، رواناب سطحی و تلفات نفوذ عمقی در ۱۰ مزرعه تحت آبیاری به‌ترتیب ۱۷/۴۷، ۶۸/۳۶ و ۱۴/۱۷ درصد اعلام کردند، فقدان مدیریت کارآمد و اجرای نامناسب سامانه آبیاری جویچه‌ای زیگزاگ در منطقه مورد مطالعه سبب پایین بودن بازده گزارش شده است. در مطالعه دیگر Nahvinia et al. (2019) به بررسی شاخص‌های راندمان آبیاری در شبکه حمودی خوزستان پرداختند. راندمان توزیع، کاربرد و کل شبکه به ترتیب ۶۸، ۵۳ و ۴۴ درصد برآورد شد که بیانگر عملکرد پایین آبیاری در شبکه آبیاری حمودی است. همچنین مدیریت ضعیف آبیاری در منطقه سبب شده علیرغم تحویل حجم زیاد آب به شبکه، نیاز خالص محصولات تأمین نشود.

یکی از راه‌های ارتقاء بازده و عملکرد آبیاری جویچه‌ای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی است. مدل‌های آبیاری سطحی ابزاری برای طراحی و ارزیابی روش‌های آبیاری سطحی هستند (Abbasi, 2013). با استفاده از این مدل‌ها می‌توان یک آبیاری کامل را شبیه‌سازی و طراحی نموده و با تغییر عوامل ورودی آن که در حقیقت عوامل طراحی نیز می‌باشند به بازده و یکنواختی بالایی در امر آبیاری دست یافت. Beykzadeh et al. (2014) به‌منظور بهینه‌سازی میزان جریان ورودی و زمان آبیاری در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل هیدرودینامیک کامل، نتایج قابل قبولی در زمینه برنامه‌ریزی آبیاری ارائه دادند که با اعمال سناریوهای متفاوت و همچنین بهینه‌سازی پارامترهای ورودی مزرعه می‌توان در جهت ارتقای مدیریت آبیاری و دستیابی به راندمان و یکنواختی توزیع مورد نظر گام برداشت. WU et al. (2017) به بررسی دقت مدل SIRMOD در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای پرداختند. بدین منظور در دو حالت جویچه‌های ثابت و متغیر، راندمان توزیع آب (DU) را شبیه‌سازی نمودند و با مقادیر واقعی مورد مقایسه قرار دادند و بیان کردند که شبیه‌سازی‌ها با دقت بسیار مناسبی در هر دو حالت انجام شده است. Bautista et al. (2009) مدل *WinSRFR* را به منظور ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری و تخمین خصوصیات نفوذ و زبری هیدرولیکی استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل قادر خواهد بود تا دامنه راه حل‌هایی را که منجر به عملکرد تقریباً بهینه میشود تجسم کرده و راه حلی را برگزیند که همخوانی بیشتری با محدودیت‌های اجرایی داشته باشد. Heydari and Abbasi (2014) با بهینه‌سازی پارامترهای طراحی و مدیریت آبیاری با استفاده از *WinSRFR* در شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر در استان خوزستان به این نتیجه رسیدند که اگر ابعاد قطعات به همراه سایر پارامتر های طراحی و مدیریت آبیاری شامل دبی و مدت زمان آبیاری به طور مناسب انتخاب شود، با روش آبیاری سطحی نواری به راندمان‌های مناسب کاربرد آب در مزرعه حتی بالاتر از ۷۰ درصد قابل دستیابی است. با بررسی مدل *WinSRFR* محققین دیگری گزارش کردند که مدل شبیه‌سازی مناسبی از داده‌های مزرعه انجام داده و از آن برای مدیریت آب در آبیاری سطحی به خوبی می‌توان استفاده نمود (Nie *et al.*, 2014). مطالعه Tafteh et al. (2017) به بررسی و بهینه‌سازی آبیاری

نواری با استفاده از مدل *WinSRFR* پرداختند. نتایج نشان داد اگر پارامترهای موثر از قبیل عمق و زمان آبیاری، طول و عرض نوار، دبی ورودی به درستی صورت گیرد، راندمان کاربرد آب تا ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. محققان مختلف به قابلیت و کارایی قابل قبول مدل *WinSRFR* در دستیابی به راندمان کاربرد آب مطلوب با ارزیابی سناریوهای مختلف با تغییرات دبی، شیب، ابعاد و سایر اجزای مرتبط بر در آبیاری‌های جویچه‌ای، نواری و کرتی اشاره کرده‌اند (Eldeiry *et al.*, 2005; Gillies *et al.*, 2008, Navabian *et al.*, 2009 Bautista *et al.*, 2012; Taghizadeh et al., 2013 Mokari Gahroodi *et al.*, 2013 Valipour and Montazar, 2012;).

استان خوزستان یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی کشور است که نه‌تنها در حال حاضر نقش تعیین کننده‌ای در تولید محصولات کشاورزی و ایجاد امنیت غذایی دارد، بلکه با توجه به ظرفیت‌ها و استعدادهای بالقوه نقشی بی‌بدیل در توسعه آینده کشاورزی کشور خواهد داشت. از طرفی بررسی‌ها نشان داده است که راندمان آبیاری سطحی در اکثر کشت و صنعت‌های این استان پایین بوده و تلفات آب زیاد است. کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول نیز از این قاعده مستثنی نیست. شرکت کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول یکی از قطب‌های مهم کشاورزی و باغبانی در کشور است که ارزیابی راندمان و عملکرد آبیاری سطحی در این اراضی تاکنون به اندازه کافی مورد توجه واقع نشده است، بنابراین این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد آبیاری جویچه‌ای در اراضی این کشت و صنعت انجام شد. سپس به منظور بهبود عملکرد آبیاری پیشنهاداتی با استفاده از بهینه‌سازی پارامترهای طراحی توسط مدل *WinSRFR* ارائه شد.

مواد و روش‌ها

آزمایشات مزرعه‌ای

این پژوهش در سال ۱۳۹۶ با هدف بررسی عملکرد آبیاری جویچه‌ای و ارزیابی راندمان آن، در مزارع ذرت کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول انجام شد. اراضی زراعی کشت و صنعت شهید بهشتی در مناطق BC واقع در ۱۳ کیلومتری جنوب شهرستان اندیمشک و دیلم در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان دزفول واقع شده است. بمنظور تعیین راندمان آبیاری، سه مزرعه در منطقه دیلم و سه مزرعه در منطقه BC و در هر مزرعه سه جویچه انتخاب شد و مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. در انتخاب مزارع نمونه عوامل مختلفی از جمله: رعایت اصل انتخاب تصادفی، آیش نبودن مزرعه، امکان پذیر بودن عملیات ارزیابی و استفاده از تجربیات زارعین و سر آبیارها مد نظر قرار گرفت. به منظور بررسی و ارزیابی وضع موجود شبکه، در مدیریت آبیاری آبیاران نظیر زمان، مدت و مقدار آبیاری هیچگونه اعمال نظری نشد.

در هر مزرعه ابتدا مشخصات فیزیکی مزارع شامل بافت خاک، رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، طول و شیب جویچه تعیین شد (جدول ۱). مزارع انتخابی با نام دریچه آبرسان آن شناخته می‌شوند که در این تحقیق هم با همان نام معرفی شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات مزارع انتخابی کشت صنعت شهید بهشتی و بافت خاک آن‌ها

منطقه	کد مزرعه	شماره آزمایش	طول جویچه (m)	شیب جویچه	بافت خاک	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	پژمردگی دائم (درصد حجمی)
دیلم	۲ f- ۱۴۸	۱	۲۳۰	۰/۰۰۲	Si.C.L	۳۵/۸	۲۰/۰
		۲	۲۳۰	۰/۰۰۴	Si.C.L	۳۵/۸	۲۰/۰
		۳	۱۲۰	۰/۰۰۷	Si.L	۳۰/۰	۱۵/۰
	۵ – f۱۵۰	۱	۳۰۰	۰/۰۰۳	Si.L	۳۰/۰	۱۵/۰
		۲	۳۳۰	۰/۰۰۲	Si.L	۳۰/۰	۱۵/۰
		۳	۳۳۰	۰/۰۰۲	L	۲۶/۷	۱۱/۷
	۶ – f۱۵۴	۱	۴۲۰	۰/۰۰۲	Si.L	۳۱/۰	۱۴/۰
		۲	۲۳۰	۰/۰۰۲	Si.L	۳۰/۰	۱۵/۰
		۳	۲۳۰	۰/۰۰۲	Si.L	۳۰/۰	۱۵/۰
BC	۴ – f۱۶/۲	۱	۳۵۰	۰/۰۰۳	Si.C.L	۳۵/۸	۲۰/۰
		۲	۳۷۰	۰/۰۰۲	Si.C.L	۳۵/۸	۲۰/۰
		۳	۳۷۰	۰/۰۰۲	Si.C.L	۳۵/۸	۲۰/۰
	۳– f۱۰	۱	۲۶۰	۰/۰۰۲	Si.L	۳۰/۰	۱۵/۰
		۲	۲۶۰	۰/۰۰۳	Si.L	۳۰/۰	۱۵/۰
		۳	۲۷۰	۰/۰۰۲	L	۲۶/۷	۱۱/۷
	۳ – f۱۸/۱	۱	۴۴۰	۰/۰۰۴	Si.C.L	۳۵/۸	۲۰/۰
		۲	۴۴۰	۰/۰۰۴	Si.C.L	۳۵/۸	۲۰/۰
		۳	۴۵۰	۰/۰۰۴	Si.C.L	۳۵/۸	۲۰/۰

برای تعیین بافت خاک اراضی مورد مطالعه، از روش هیدرومتری و مثلث بافت خاک استفاده شد. نمونه‌های برداشت شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، برای تعیین بافت خاک استفاده شد. مقدار رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم با استفاده از جداول موجود بر اساس بافت خاک تعیین شد (Alizadeh, 2004). با تقسیم طول جویچه به فواصل ۱۰ متری و میخکوبی این نقاط، زمان‌های پیشروی و پسروی اندازه گیری شد. با استفاده از دوربین نیوو و شاخص، متوسط شیب طولی جویچه محاسبه شد. اندازه‌گیری و ارزیابی‌ها برای یک واقعه آبیاری با سه تکرار (سه جویچه) انجام شد. همچنین برای اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی از فلوم WSC تیپ دو استفاده شد. نفوذ عمقی با استفاده از داده‌های مدل و همچنین محاسبات ریاضی تعیین شد. پس از تعیین حجم آب ورودی و خروجی و نیز مقدار آب ذخیره شده در منطقه ریشه گیاه، نفوذ عمقی برآورد شد. عمق توسعه ریشه گیاه با نمونه‌گیری مستقیم اندازه‌گیری شد. به طوری که وقتی خاک خیس بود، چند نقطه در اطراف گیاه حفر شد و عمق توسعه ریشه گیاه اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف - لوئیس (رابطه ۱)، از روش ورودی–خروجی در تعیین سرعت نفوذ نهایی خاک و از داده‌های زمان پیشروی جریان و روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر (L و ۰/۵L) در تعیین ضرایب k و a استفاد شد (Elliott and Walker, 1982).

$$Z = kt^a + f_0 t + c \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن، z حجم آب نفوذ کرده در واحد طول جویچه ($m^3.m^{-1}$)، t زمان نفوذ آب در هر نقطه (min)، f_0 سرعت نفوذ نهایی آب در خاک ($m^3.m^{-1}.min^{-1}$) و ضرایب a، k و c ضرایب ثابت معادله نفوذ است. نفوذ تجمعی و حجم آب نفوذ یافته در طول جویچه با استفاده از معادله نفوذ و زمان‌های پیشروی و پسروی محاسبه شد. با استفاده از داده‌های برداشت شده، شاخص‌های ارزیابی عملکرد آبیاری زیر محاسبه شد:

راندمان کاربرد که زیر مجموعه‌ای از راندمان آبیاری است، نشان‌دهنده نسبت آب ذخیره شده در منطقه ریشه به کل مقدار آب تخلیه شده به مزرعه است. لذا این پارامتر را می‌توان به‌صورت معادله زیر ارائه نمود (Qasemzadeh Majari, 1998):

$$E_a = \frac{V_{rz}}{V_{in}} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن: V_{rz}، کل عمق (در واحد عرض) یا حجم (در فاصله جویچه) آب آبیاری که جایگزینی و تأمین کمبود رطوبت خاک قبل از آبیاری است. V_{in} کل عمق (در واحدعرض) یا حجم (در فاصله جویچه) آب آبیاری که به مزرعه وارد شده است.

راندمان نیاز آبی یا همان راندمان ذخیره شاخصی برای ارزیابی توانمندی آبیاری در برآورده ساختن میزان کمبود رطوبت در منطقه ریشه است یا اینکه آبیاری تا چه حد توانسته است کمبود رطوبت منطقه ریشه را تأمین کند. با توجه به این مفهوم، معیار عملکرد فوق به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Riahifarsani et al., 2014):

$$E_r = \frac{V_{rz}}{V_{RZ}} = \frac{V_{rz}}{Z_{req} \times W \times L} \qquad \text{(رابطه۳)}$$

V_{rz}، کل عمق (در واحد عرض) یا حجم (در فاصله جویچه) آب آبیاری که برای جایگزینی و تأمین کمبود رطوبت خاک قبل از آبیاری نیاز است.

یکنواختی توزیع آب (DU)، نشان دهنده نسبت حجم آب نفوذ کرده در چارک پایین زمین به میانگین حجم آب نفوذ کرده در نقاط مختلف جویچه است. این پارامتر به‌صورت معادله زیر تعریف می‌شود (Qasemzadeh Majari, 1998):

$$DU = \frac{V_{LQ}}{V^-} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

V_{LQ}، حجم آب نفوذ کرده در چارک پایین زمین و V^-، میانگین حجم آب نفوذ کرده در نقاط مختلف جویچه است.

نسبت نفوذ عمقی (DPR) جزئی از آب آبیاری است که به مزرعه نفوذ کرده و به‌صورت نفوذ عمقی از زیر منطقه ریشه از دسترس گیاه خارج می‌شود (Qasemzadeh Majari, 1998):

$$DPR = \frac{V_{dp}}{V_{in}} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

V_{dp}، عمق آب (در واحد عرض) یا حجم (در فاصله جویچه) آبی که به زیر منطقه ریشه نفوذ می‌کند.

نسبت رواناب پایاب (TWR) نیز جزئی از آب آبیاری است که به‌صورت رواناب در پایین دست مزرعه جریان می‌یابد. این معیار کمی عملکرد آبیاری با معادله زیر قابل محاسبه است (Qasemzadeh Majari, 1998):

$$TWR = \frac{V_{tw}}{V_{in}} \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

V_{tw}، عمق آب (در واحد عرض) یا حجم (در فاصله جویچه) آبی که به‌صورت رواناب پایاب در انتهای مزرعه جریان دارد.

نرم‌افزار WinSRFR

از مدل *WinSRFR* برای طراحی بهینه جویچه‌ها استفاده شد. به‌منظور کاهش خطاهای شبیه‌سازی، مدل واسنجی شد. بدین منظور پارامترهای مورد نیاز مدل (دبی ورودی، زمان قطع جریان، طول زمین، نوع آبیاری سطحی، شیب طولی زمین، مشخصات سطح مقطع جریان و مشخصات نفوذ) به مدل معرفی شد. بعد از این مراحل، شبیه‌سازی توسط مدل و براساس اطلاعات موجود

انجام شد. سپس برای واسنجی و منطبق شدن منحنی‌های پیشروی، پسروی و حجم آب نفوذ یافته حاصل از پیش‌بینی مدل و اندازه‌گیری شده در مزرعه پارامترهای نفوذ و مقدار ضریب زبری مانینگ مورد بازبینی و تغییر قرار گرفتند و بعد از اعمال تغییر بر روی این پارامترها، مدل واسنجی شد. سپس از مدل *WinSRFR* برای تخمین راندمان کاربرد و مدت آبیاری استفاده شد به‌طوری که طراحی برای شرایط حداکثر توسعه ریشه گیاه ذرت انجام شده است. عوامل مختلفی از جمله طول و شیب جویچه، دبی ورودی و زمان آبیاری در افزایش راندمان و کاهش مصرف آب اهمیت فراوانی دارد. برخی از این پارامترها نظیر شیب زمین معمولاً قابل تغییر نیستند، لذا به‌عنوان پارامتری ثابت در نظر گرفته شد.

طول جویچه متناسب با یک دبی ثابت و شرایط مختلف مزرعه‌ای تعیین شد و مدت آبیاری متناسب با آن تخمین زده شد. بدین منظور از مقادیر ضرایب نفوذ، شیب و ضریب زبری میانگین سه آزمایش (جویچه) در هر مزرعه استفاده شد تا بتوان برای هر مزرعه پیشنهادی مناسب ارائه نمود. در تعیین دبی ورودی به جویچه‌ها چند نکته در نظر گرفته شد. دبی انتخابی مناسب با نوع بافت خاک باشد چرا که در بافت‌های مختلف مقدار دبی ورودی در میزان راندمان آبیاری بسیار مؤثر است. برای انجام این کار از رابطه حداکثر دبی غیرفرسایشی ارائه شده توسط Alizadeh (2004) استفاده شد. علاوه بر آن تلاش شده تا دبی و طول مزرعه به شرایط موجود نزدیک باشد تا کم‌ترین تغییر در شکل مزارع و سایر پارامترهای هیدرولیکی صورت پذیرد. همچنین دبی ورودی به مزرعه مقداری مشخص باشد که توسط سیفون برای هر جویچه قابل تأمین باشد. در نهایت برای انتخاب بهترین گزینه، سعی شد گزینه‌ای انتخاب گردد که بالاترین راندمان کاربرد و تطابق پذیری با شرایط فعلی مزرعه را داشته باشد.

نتایج و بحث

اجزای بیلان آب

به‌منظور مشخص کردن کارکرد سامانه آبیاری، راندمان کاربرد آبیاری، راندمان نیاز آبی، درصد تلفات نفوذ عمقی و درصد تلفات رواناب در سه مزرعه از هر منطقه (دیلم و BC) و در سه تکرار (جویچه) تعیین شد. پیش از بررسی این شاخص‌ها، حجم آب ذخیره شده در منطقه ریشه، نفوذ عمقی، رواناب و کل حجم آب نفوذ یافته در جویچه‌ها برآورد شد که نتایج در جدول (۲) ارائه شده است. جدول (۳) پارامترهای اندازه‌گیری و تخمین زده شده در مزارع مورد بررسی در کشت و صنعت شهید بهشتی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در کلیه مزارع مورد بررسی در دو منطقه دیلم و BC مقدار تلفات رواناب بیش‌تر از مقدار تلفات نفوذ عمقی است (جدول ۳). به طوریکه در منطقه دیلم، در مزرعه f۲-۱۴۸ در هر جویچه بین ۱۵-۱۱درصد آب مصرف شده در اختیار گیاه قرار گرفته و مابقی آن به شکل‌های مختلف از دسترس گیاه خارج شده است. در مزرعه f۵-۱۵۰در جویچه‌ها بین ۴۱-۱۷درصد کل آب ورودی مورد استفاده گیاه قرار گرفته است و در مزرعه f۶-۱۵۴بین ۴۲-۸ درصد از کل آب ورودی مفید واقع شده است. در منطقه BC در مزرعه ۱۶/۲f۴ بین ۵۰-۴۲ درصد، در مزرعه f۳-۱۰ بین ۳۳-۲۷ درصد و در مزرعه ۱۸/۱-f۳ بین ۴۷-۴۱ درصد از کل آب ورودی به جویچه در اختیار گیاه قرار گرفته است و مابقی آن از دسترس گیاه خارج شده است. همچنین با کاهش طول جویچه، تلفات رواناب روند افزایشی داشته و مدت زمان پیشروی آب کاهش یافت. با افزایش میزان آب کاربردی، مقدار تلفات (مجموع تلفات نفوذ عمقی و رواناب) افزایش پیدا کرد (جداول ۲ و ۳). در مزرعه f۶-۱۵۴ ترک خوردگی‌های عمقی کف جویچه باعث کاهش شدت جریان آب در انتهای جویچه و در نهایت کاهش رواناب خروجی و افزایش نفوذ عمقی شد که با نتایج Hamdi Ahmadabad et al., (2016) و Morris et al. (2015) مطابقت دارد.

به‌طور کلی جدول (۲) به‌وضوح نشان می‌دهد که مدیریت مقدار و مدت آبیاری مناسب نبوده است. این موضوع به دلیل عدم آگاهی زارعان از مقدار آب مورد نیاز و عدم قطع جریان در زمان مناسب است. چرا که با بررسی حجم آب مورد نیاز، حجم آب ورودی و مقدار آب نفوذ یافته در خاک مشخص می‌شود که در اکثر مزارع حجم آب ورودی چندین برابر حجم آب مورد نیاز است، اما نیاز آبی گیاه تأمین نشده و کم‌آبیاری ناخواسته صورت گرفته و اکثر آب ورودی به جویچه به رواناب تبدیل شده است. بیان این نکته ضروری است که عمق توسعه ریشه و در واقع رخداد آبیاری در طول فصل رشد اهمیت بسیار زیادی در تعیین درصد تلفات دارد.

شاخص‌های ارزیابی

نتایج محاسبه درصد تلفات نفوذ عمقی، تلفات رواناب، راندمان نیاز آبی و راندمان کاربرد در مزارع انتخابی ذرت در کشت و صنعت شهید بهشتی در شکل (۱) ارائه شده است. نتایج نشان داد که تلفات نفوذ عمقی و رواناب در مزارع منطقه دیلم به‌ترتیب ۴/۹، ۸۱/۵ (مزرعه f۲-۱۴۸)، ۱۳/۶ و ۵۹/۹ (مزرعه f۵-۱۵۰) ، ۵/۱، ۴۹/۳ (مزرعه f۶-۱۵۴) درصد بود. این مقادیر در مزارع منطقه BC به ترتیب ۵/۷، ۴۹/۲ (۱۶/۲-f۴)، ۳/۲ و ۵۲/۹ (f۳-۱۰)، ۵/۶، ۶۲/۳ (۱۸/۱-f۳) درصد تعیین شد. Gudissa and

Edossa (2014) و Unlu et al. (2007) به‌ترتیب متوسط میزان تلفات نفوذ عمقی را برای آبیاری با دبی پیوسته ۱۹/۵ و ۷ درصد گزارش کردند. تلفات رواناب در مزارع مورد مطالعه بسیار بیش‌تر از تلفات نفوذ عمقی است. از جمله دلایل تلفات بالای رواناب می‌توان به آبیاری غیردقیق آبیاران، شیب زیاد مزرعه، دبی بالا و بافت سنگین اشاره نمود. بنابراین از آنجایی که شیب و بافت خاک در هر مزرعه نسبتاً ثابت است، باید بر اساس بافت خاک و شیب مزرعه، کنترل و مدیریت دبی ورودی و طول جویچه صورت گیرد تا از تلفات آب جلوگیری نمود (Walker and Skogerboe, 1987; Alizadeh, 2004; Chen et al., 2012).

جدول ۲- حجم آب مورد نیاز، ورودی، نفوذ یافته، رواناب، نفوذ عمقی و ذخیره شده در منطقه ریشه گیاه در جویچه‌های مورد بررسی در مناطق دیلم و BC

مشخصات مزرعه		شماره آزمایش	حجم آب موردنیاز	حجم آب ورودی	حجم آب نفوذ یافته	حجم رواناب	حجم نفوذ عمقی	حجم آب ذخیره‌شده در منطقه ریشه
منطقه	نام مزرعه		(mm)					
		۱	۳۹/۶	۲۶۱/۸	۳۹/۵	۲۲۲/۴	۰	۳۹/۵
	۲-f۱۴۸	۲	۳۹/۶	۳۶۶/۳	۹۳/۴	۲۷۲/۸	۵۳/۹	۳۹/۶
		۳	۳۷/۵	۲۳۶/۶	۳۵/۲	۲۰۱/۴	۰	۳۵/۲
		۱	۵۲/۵	۲۳۹/۵	۹۱/۸	۱۴۷/۷	۳۹/۳	۵۲/۵
دیلم	۵-f۱۵۰	۲	۵۲/۵	۳۱۳/۷	۱۲۹/۳	۱۸۴/۴	۷۶/۸	۵۲/۵
		۳	۵۲/۵	۱۲۲/۸	۵۰/۰	۷۲/۹	۰	۵۰/۰
		۱	۳۰/۰	۷۰/۴	۴۳/۸	۲۶/۶	۱۳/۸	۳۰
	۶-f۱۵۴	۲	۳۰/۰	۳۷۸/۵	۱۵۶/۹	۲۲۱/۶	۱۲۶/۸	۳۰
		۳	۳۰/۰	۱۹۷/۹	۶۹/۴	۱۲۸/۴	۳۹/۵	۳۰
		۱	۶۳/۳	۱۱۱/۲	۴۷/۱	۶۴/۱	۰	۴۷/۱
	۴-f۱۶/۲	۲	۶۳/۳	۱۲۸/۵	۵۷/۱	۷۱/۴	۰	۵۷/۱
		۳	۶۳/۳	۱۲۶/۰	۸۲/۵	۴۳/۵	۱۹/۲	۶۳/۳
		۱	۱۰۱/۵	۱۳۷/۳	۵۶/۲	۸۱/۲	۰	۵۶/۲
BC	۳-f۱۰	۲	۱۰۱/۵	۲۰۹/۷	۹۳/۱	۱۱۶/۵	۰	۹۳/۱
		۳	۱۰۰/۰	۲۱۵/۲	۱۲۰/۴	۹۴/۸	۱۵/۸	۱۰۴/۶
		۱	۳۷/۴	۱۲۴/۷	۳۷/۴	۸۷/۴	۰	۳۷/۴
	۳-f۱۸/۱	۲	۳۷/۴	۷۲/۲	۱۹/۴	۵۲/۸	۰	۱۹/۴
		۳	۳۸/۰	۹۶/۴	۵۴/۲	۴۲/۲	۳۴/۳	۱۹/۹

جدول ۳- پارامترهای اندازه‌گیری و تخمین زده شده در مزارع مورد بررسی در کشت و صنعت شهید بهشتی

نام زمین		شماره آزمایش	ضریب زبری	ضرایب نفوذ			زمان قطع جریان (min)	زمان کل آبیاری (min)	مشخصات مقطع* (cm)				زمان پیشروی (min)	عمق ریشه (m)
منطقه	شماره مزرعه			a (-)	K ($m^3/m/min$)	f_0 ($m^3/m/min^a$)			t_{max}	t_{mid}	t_{min}	y_{max}		
		۱	۰/۰۳۰	۰/۳۰	۵/۰	۱۰/۰	۴۳۷/۰	۴۶۴/۰	۳۰	۲۰	۱۰	۵/۸	۲۲/۲	۰/۵
	۲-f۱۴۸	۲	۰/۰۳۵	۰/۵۰	۴۶/۸	۱۰/۰	۴۹۷/۳	۵۲۷/۳	۳۰	۲۰	۱۰	۵/۹	۲۶/۵	۰/۵
		۳	۰/۰۴۰	۰/۱۵	۵۰/۰	۱۰/۰	۳۵۰/۵	۳۶۹/۳	۳۰	۲۰	۱۰	۵/۷	۲۱/۰	۰/۵
		۱	۰/۰۴۸	۰/۳۰	۸۰/۰	۹/۰	۶۳۸/۷	۶۸۶/۸	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۰	۸۸/۵	۰/۷
دیلم	۵-f۱۵۰	۲	۰/۰۴۸	۰/۶۰	۱۴/۰	۸/۵	۵۲۹/۰	۵۸۴/۸	۳۰	۲۰	۱۰	۵/۵	۱۱۱/۳	۰/۷
		۳	۰/۰۳۰	۰/۶۰	۱۵/۰	۱۱/۰	۵۶۹/۰	۶۰۰/۵	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۰	۱۵۱/۵	۰/۷
		۱	۰/۰۳۰	۰/۴۳	۳۶/۰	۷/۰	۶۱۷/۰	۷۰۲/۱	۳۰	۲۰	۱۰	۵/۸	۲۷۹/۱	۰/۴
	۶-f۱۵۴	۲	۰/۰۳۵	۰/۵۸	۳۳/۰	۲۰/۰	۵۶۲/۰	۵۸۸/۰	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۰	۴۲/۵	۰/۴
		۳	۰/۰۳۰	۰/۱۸	۶۰/۰	۱۵/۰	۵۰۱/۵	۵۳۰/۰	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۳	۵۴/۲	۰/۴
		۱	۰/۰۴۵	۰/۰۱	۳۵/۰	۱۴/۰	۴۵۲/۰	۵۴۲/۰	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۰	۷۵/۰	۰/۸
	۴-f۱۶/۲	۲	۰/۰۳۰	۰/۳۰	۵۵/۰	۱۰/۰	۵۲۴/۰	۵۷۳/۶	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۱	۱۱۳/۰	۰/۸
		۳	۰/۰۴۰	۰/۳۰	۶۰/۰	۱۶/۰	۵۸۰/۰	۶۲۹/۵	۳۰	۲۰	۱۰	۵/۹	۱۶۵/۰	۰/۸
		۱	۰/۰۳۰	۰/۱۰	۱۰۰/۰	۱۰/۰	۳۹۸/۰	۴۸۰/۵	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۰	۸۸/۰	۰/۸
BC	۳-f۱۸/۱	۲	۰/۰۴۰	۰/۰۱	۵۵/۰	۸/۰	۳۹۸/۰	۴۹۰/۰	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۰	۹۰/۵	۰/۸
		۳	۰/۰۴۵	۰/۳۱	۱۰۰/۰	۱۰/۰	۴۴۵/۰	۵۱۲/۲	۳۰	۲۰	۱۰	۵/۸	۱۴۱/۲	۰/۸
		۱	۰/۰۴۰	۰/۱۰	۳۵/۰	۸/۰	۴۸۳/۰	۵۶۰/۰	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۱	۸۴/۴	۰/۸
	۳-f۱۰	۲	۰/۰۳۰	۰/۲۰	۵۰/۰	۱۲/۰	۴۸۳/۰	۵۷۰/۰	۳۰	۲۰	۱۰	۶/۰	۷۷/۰	۰/۸
		۳	۰/۰۴۰	۰/۴۳	۵۰/۰	۱۲/۰	۴۷۰/۰	۵۳۲/۰	۳۰	۲۰	۱۰	۵/۹	۱۲۰/۰	۰/۸

* Y_{max}: حداکثر عمق جویچه، t_{min}: عرض کف جویچه، t_{mid}: عرض میانی جویچه، t_{max}: عرض بالای جویچه

شکل ۱- میانگین راندمان کاربرد (E_a)، راندمان نیاز آبی (E_r)، یکنواختی توزیع (DU)، تلفات نفوذ عمقی (DPR) و رواناب (TWR) در مزارع مورد بررسی در مناطق دیلم و BC در کشت و صنعت شهید بهشتی

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب راندمان کاربرد آب در مزارع انتخابی منطقه دیلم و BC است. به‌طوری که مقادیر راندمان کاربرد در مزارع دیلم از ۱۳/۶ تا ۲۶/۴ درصد و در مزارع BC از ۳۲/۹ تا ۴۵/۶ درصد متغیر بود. از مهم‌ترین دلایل بالاتر بودن راندمان کاربرد در مزارع منطقه BC در مقایسه با منطقه دیلم، عمق توسعه ریشه گیاه بیشتر و نیز مقدار آب ورودی کمتر به جویچه‌ها است (جدول ۳ و شکل ۱). از آنجا که هر مزرعه آبیار مشخصی دارد، نتایج نشان می‌دهد که آبیار می‌تواند در افزایش یا کاهش مقدار راندمان کاربرد آبیاری نقش مهمی ایفا نماید. لذا آموزش آبیاران و آگاه‌سازی آن‌ها از نتایج فعالیتشان می‌تواند در افزایش راندمان آبیاری و عملکرد محصول بسیار مؤثر باشد (Hamdi Ahmadabad et al., 2016). نتایج مطالعه Mazarei et al. (2020) در مزارع نیشکر کشت و صنعت سلمان فارسی در استان خوزستان که به روش جویچه‌ای آبیاری می‌شدند، نشان داد که مقادیر راندمان کاربرد بین ۴۸ تا ۶۱ درصد متغیر بود. اما در مزارع مورد بررسی آن‌ها مقادیر تلفات رواناب بسیار ناچیز و تلفات نفوذ عمقی قابل توجه بود. همچنین نتایج مطالعه Abbasi و Sheini Dashtegol (2017) در ارزیابی آبیاری جویچه‌ای در اراضی تحت نیشکر خوزستان نشان داد راندمان کاربرد در مزارع مورد مطالعه از ۷ تا ۱۰۰ درصد متغیر و متوسط آن در مزارع ارزیابی شده ۴۲/۵ درصد بود.

مقادیر راندمان نیاز آبی در مزارع دیلم از ۹۸ تا ۱۰۰ درصد و در مزارع بی‌سی از ۸۲/۳ تا ۸۸/۲ درصد متغیر بود. به‌طور مشخص راندمان نیاز آبی در مزرعه f۳-۱۰ تفاوت زیادی با مزارع دیگر داشت. در مزارع منطقه دیلم به دلیل اینکه عمق توسعه ریشه گیاه نسبت به مزارع منطقه BC کمتر بوده است، عمق آب نفوذ یافته در خاک توانسته است نیاز آبی گیاه را تأمین نماید. عدم رعایت اصول مهندسی در آبیاری این مزرعه سبب شده تا علاوه بر کاهش راندمان آبیاری، نیاز آبی گیاهان هم تأمین نگردد. راندمان نیاز آبی تنها در مزرعه f۶-۱۵۴در منطقه دیلم برابر ۱۰۰ درصد به دست آمد این در حالی است که مقدار راندمان کاربرد در این مزرعه بسیار پایین بود.

مقادیر راندمان یکنواختی توزیع در مزارع دیلم از ۷۲/۳ تا ۸۸/۳ درصد و در مزارع BC از ۷۷/۶ تا ۸۸/۳ درصد متغیر بود که نشان از مطلوب بودن نسبی این پارامتر دارد. مطالعه Hamdi Ahmadabad et al. (2016) در بررسی عملکرد آبیاری جویچه‌ای در مزارع ذرت نیز نشان داد متوسط یکنواختی توزیع ۷۹/۵ و ۸۹/۶ درصد و نیز نتایج مطالعه Mazarei et al (2020) در ارزیابی عملکرد آبیاری جویچه‌ای در مزارع نیشکر برابر با ۷۵ درصد و Abbasi و Sheini Dashtegol (2017) برابر ۹۲ درصد برآورد شد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

نتایج مدل

نتایج خروجی مدل *WinSRFR* برای هر مزرعه در جدول (۴) ارائه شده است. مقادیر دبی غیرفرسایشی در مزارع دیلم و BC از ۰/۸۳ تا ۲/۸۵ لیتر در ثانیه متغیر بود. نتایج نشان داد در مزرعه f۵-۱۵۰در منطقه دیلم بهترین گزینه پیشنهادی در دبی ۲/۵ لیتر بر ثانیه، طول ۳۳۰ متر با راندمان کاربرد ۶۳ درصد بود. گرچه گزینه تبدیل دو قسمتی زمین (۱۶۵متر) هم کاربردی است و هم راندمان بیشتری دارد اما چون طول زمین ۳۳۰ متر است گزینه

اول، گزینه برتر انتخاب شد. به طور مشابه برای سایر مزارع نیز نتایج در جدول (۴) ارائه شده است. در مزرعه ۱۶/۲-f۴ بهترین گزینه ممکن پیشنهاد شده در دبی ۲ لیتر بر ثانیه، طول ۳۷۰ متر بود که منجر به دستیابی راندمان کاربرد ۵۸ درصد شد. نتایج مطالعه Morris et al. (2015) نشان داد با بکارگیری دبی جریان بین ۷-۲ لیتر در ثانیه و زمان قطع جریان ۳۰۰-۵۰ دقیقه در آبیاری جویچه‌ای می‌توان کارایی سامانه را افزایش داد.

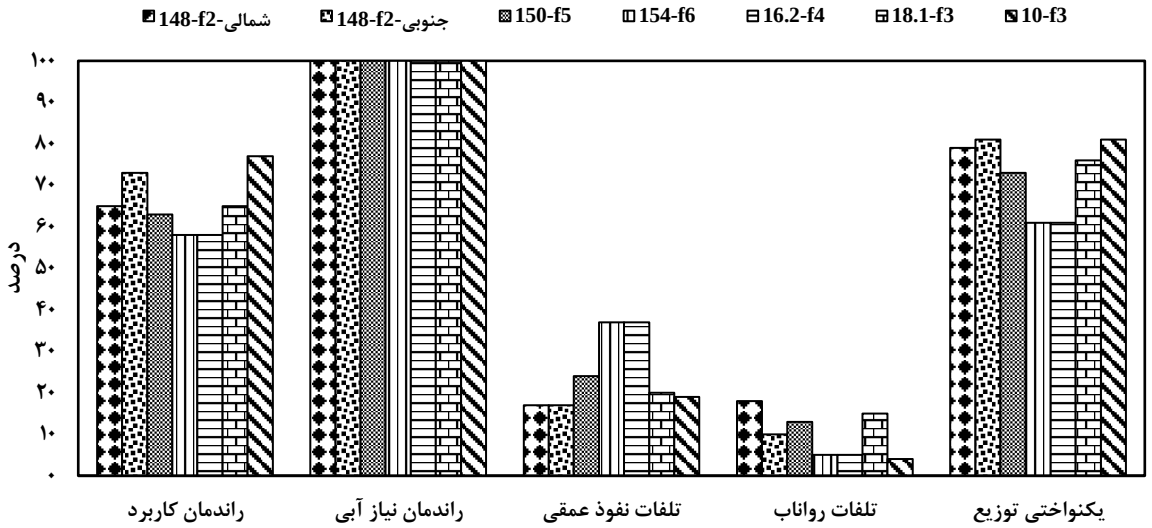
جدول ۴- نتایج حاصل از نرم افزار WinSRFR در مزارع دیلم و BC مورد بررسی

نام منطقه	مشخصات مزرعه				مقادیر پیشنهادی برای طراحی جویچه‌های آبیاری توسط مدل WinSRFR در مزارع مورد بررسی منطقه دیلم و بی سی				
	نام زمین	میانگین دبی ورودی به مزرعه ($L.S^{-1}$)	طول زمین (m)	حداکثر دبی غیر فرسایشی ($L.S^{-1}$)	طول (m)	دبی ($L.S^{-1}$)	زمان قطع جریان (min)	راندمان کاربرد (٪)	تلفات رواناب (٪)	تلفات نفوذ عمقی (٪)
دیلم	۲-f۱۴۸-شمالی	۱/۹۲	۲۳۰	۲/۵	۲۳۰	۱/۵	۱۱۸/۸	۶۵	۱۸	۱۷
					۲۳۰	۲	۹۴/۲	۶۱	۳۰	۹
	۲-f۱۴۸-جنوبی	۱	۱۲۰	۰/۸۳	۶۰	۱	۴۰/۸	۷۳	۱۰	۱۷
	۵-f۱۵۰	۱/۶	۳۳۰	۲/۶	۳۳۰	۲/۵	۱۳۶/۲	۶۳	۱۳	۲۴
					۱۶۵	۱/۵	۱۱۱/۶	۶۵	۲۰	۱۵
	۶-f۱۵۴	۱/۲۲	۴۲۰	۲/۸۵	۲۱۰	۲/۵	۵۴/۶	۵۸	۵	۳۷
					۸۴	۱/۵	۳۰/۶	۶۵	۱۶	۱۹
BC	۴-f۱۶/۲	۱/۰۷	۳۷۰	۲/۱۴	۳۷۰	۲	۲۵۵/۶	۵۸	۵	۳۷
					۱۸۵	۱	۲۵۴/۴	۵۷	۶	۳۷
	۳-f۱۸/۱	۱/۱۳	۴۴۰	۱/۵	۴۴۰	۲	۲۹۱/۶	۵۶	۶	۳۸
					۲۲۰	۱/۵	۱۷۱	۶۵	۱۵	۲۰
	۳-f۱۰	۱/۴۸	۲۶۰	۲/۶۱	۱۰۰	۲/۵	۳۹	۷۶	۳	۲۱
					۸۷	۲/۵	۳۵/۴	۷۷	۴	۱۹

نتایج درصد تلفات نفوذ عمقی، تلفات رواناب، راندمان نیاز آبی و راندمان کاربرد حاصل از مدل در مزارع انتخابی ذرت در کشت و صنعت شهید بهشتی در شکل (۲) ارائه شده است. نتایج حاصل از مدل نشان داد که تلفات نفوذ عمقی در مزارع ۲f-۱۴۸، ۵f-۱۵۰ و ۶f-۱۵۴ منطقه دیلم به ترتیب ۲/۴، ۱ و ۲/۷ درصد افزایش و اما مقادیر تلفات رواناب به میزان قابل توجه ۷۸، ۶۷ و ۶۸ درصد کاهش یافت. این مقادیر در مزارع ۱۶/۲-f۴، ۳f-۱۰ و ۳f-۱۸/۱ منطقه BC به ترتیب ۶/۳، ۵/۳ و ۲ درصد افزایش برای تلفات نفوذ عمقی و نیز ۹۰، ۷۱ و ۹۴ درصد کاهش برای تلفات رواناب به دست آمد (شکل ۲). با توجه به نتایج مدل و باز طراحی صورت گرفته بر اساس بافت خاک و شیب مزرعه، کنترل و مدیریت دبی ورودی و طول جویچه مقادیر تلفات رواناب به طور قابل توجهی کاهش یافت. نتایج مدل نشان داد که راندمان کاربرد آبیاری در مزارع مورد بررسی در منطقه دیلم تا ۶۵ درصد و در مزارع بی سی از ۵۸ تا ۷۷ درصد بهبود یافت (شکل ۲). نتایج مطالعه Xu et al. (2019) و Nie et al. (2019) نشان داد با اصلاح و مدیریت دبی جریان ورودی و مشخصات هندسی مزارع از قبیل طول جویچه، شیب می‌توان راندمان کاربرد را تا ۷۰ درصد افزایش داد. نیاز آبی گیاه نیز در همه مزارع دیلم و BC به طور کامل (راندمان نیاز آبی ۱۰۰ درصد) تامین شد. همچنین مدل راندمان یکنواختی توزیع را برای مزارع دیلم از ۷۳ تا ۸۱ درصد و نیز برای مزارع BC از ۶۱ تا ۸۱ درصد برآورد کرد.

اجرای نتایج بهینه سازی پارامترهای طراحی در زمین بدون شک اختلافاتی را بین نتایج شبیه سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه، نشان خواهد داد که این اختلافات می‌تواند به عوامل مختلفی بستگی داشته باشد. برای مثال، شیب در مزارع ثابت نیست و در طول جویچه نسبتاً متغیر است. این در حالی است که در مدل، میانگین شیب جویچه در نظر گرفته می‌شود. استفاده از میانگین شیب جویچه می‌تواند سبب بروز اختلاف بین مقادیر واقعی و تخمینی مدل شود. از دیگر نکات حائز اهمیت، دبی ورودی به جویچه می‌باشد که پارامتری تأثیرگذار در راندمان آبیاری است و در شرایط واقعی مزرعه نوسان زیادی دارد. همچنین باید بیان کرد که هر چند در این مدل ضرایب نفوذ و زبری واسنجی شد اما این ضرایب به‌صورت مکانی و زمانی تغییر می‌کنند که تعیین دقیق آن‌ها را مشکل و گاهاً غیر ممکن می‌کند که می‌تواند سبب بروز خطا در نتایج گردد. Rezaverdinejad et al. (2016) نشان دادند که با مدیریت متغیرهای دبی ورودی و زمان قطع جریان، به طور متوسط ۱۲ درصد افزایش بازده کاربرد امکان‌پذیر است و همچنین با مدیریت همزمان متغیرهای جریان و هندسی (شیب و طول نوار)، بازده کاربرد به طور متوسط

۱۳/۳۵درصد قابل افزایش است. به‌طور کلی نتایج نشان داد مدل *WinSRFR* ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی پارامترهای موثر از قبیل طول مزرعه، شیب، دبی ورودی، زمان قطع جریان آبیاری جویچه‌ای در راستای افزایش راندمان آبیاری است (Nie et al., 2019; Xu et al., 2019; Mazarei et al., 2020).



شکل ۲- راندمان کاربرد (Ea)، راندمان نیاز آبی (Er)، یکنواختی توزیع (DU)، تلفات نفوذ عمقی (DPR) و رواناب (TWR) تعیین شده توسط مدل WinSRFR در مزارع مورد بررسی در مناطق دیلم و BC در کشت و صنعت شهید بهشتی

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی وضعیت آبیاری مزارع کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول و ارئه پیشنهادات کاربردی با استفاده از مدل WinSRFR انجام شد. این شرکت یکی از تحویل گیرنده‌های عمده آب از شبکه آبیاری و زهکشی دز می‌باشد لذا تعیین راندمان آبیاری و ارتقا مدیریت مصرف آب در مزارع این شرکت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به طور کلی، می‌توان نتایج این تحقیق را این گونه بیان نمود:

راندمان کاربرد در مزارع مورد بررسی تغییرات بسیار زیادی دارد به این معنا که در یک جویچه از مزرعه راندمان کاربرد بالا و در جویچه دیگر این راندمان مقدار بسیار پایین‌تری دارد. در واقع بالا یا پایین بودن راندمان کاربرد در مزارع کشت و صنعت شهید بهشتی در هر دو منطقه دیلم و BC از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند و تمام اقدامات موجود بر اساس تجربیات آبیاران و به دور از دانش مهندسی صورت می‌پذیرد. البته تجربیات آبیاران بسیار ارزشمند است اما این تجربه باید با دانش فنی توأم باشد، تا نتیجه مطلوب حاصل شود.

نتایج نشان داد که راندمان نیاز آبی در نصف مزارع مورد بررسی مقداری کمتر از ۱۰۰ درصد داشت. در واقع در نیمی از جویچه‌های مورد بررسی کم‌آبیاری رخ داده است. این در حالی است که به هر جویچه چندین برابر نیاز خالص آبیاری آب داده شده است. این عدم تأمین نیاز آبی سبب می‌شود تا عملکرد محصولات و در نتیجه درآمد حاصل از آن کاهش یابد. چراکه مصرف آب با میزان عملکرد گیاه رابطه مستقیم دارد و این کم‌آبیاری ناخواسته می‌تواند منجر به کاهش عملکرد گردد.

بررسی نتایج نشان داد که بیش‌ترین سهم تلفات در مزارع مورد بررسی مربوط به رواناب می‌باشد. تاحدی که در نیمی از جویچه‌های مورد بررسی نیاز آبی گیاه تأمین نشده است. مهم‌ترین دلیل این تلفات، طراحی غیراصولی بود. طول و دبی ورودی در اکثر مناطق با بافت خاک موجود مطابقت ندارد و این موضوع سبب شده تا تلفات بالایی در مزارع کشت و صنعت شهید بهشتی مشاهده شود.

به‌طور کلی پارامترهای مختلفی از جمله دبی ورودی به جویچه‌ها، شیب و طول مزارع و مدت آبیاری به درستی انتخاب نشده‌اند و این موضوع سبب شده تا راندمان آبیاری کاهش یابد و از طرفی نیاز آبی گیاه هم تأمین نگردد. در این مطالعه پس از ارزیابی وضعیت موجود، ارائه راهکارهای مدیریتی با استفاده از مدل *WinSRFR* نشان داد در صورتی که مدیریت مناسبی بر طول، شیب و دبی ورودی به جویچه‌ها صورت پذیرد راندمان کاربرد آب به میزان قابل ملاحظه‌ای به‌طور متوسط ٪۳۵/۸ (از ٪۲۹/۸ تا ٪۶۵/۶) افزایش می‌یابد. همچنین نتایج مدل نشان داد بر اساس باز طراحی صورت گرفته متناسب با بافت خاک و شیب

مزرعه، کنترل و مدیریت دبی ورودی و طول جویچه، تلفات رواناب به میزان قابل توجه ٪۴۹/۷ (از ٪۵۹/۷ به ٪۱۰) کاهش یافت.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abbasi, F. (2013). Principles of Flow in Surface Irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, 232pp.

Abbasi, F. and Sheini Dashtegol, A. (2017). Evaluating and Improving the Sugarcane Furrow Irrigation Management in Khuzestan, Water and Soil Science, 26(4): 109-121.

Abbasi, F. and Sohrab, F. (2011). Evaluating Irrigation Efficiency and Iso-Efficiency Maps in Iran. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage, 15-23 October 2011, Tehran, Iran.

Abbasi, F., F. Sohrab, N. Abbasi. (2017). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 17 (67): 113-128.

Alizadeh, A. (2004). Design of irrigation systems. Translation (fifth edition with revision). Astan Quds Razavi Publications, Mashhad. (In Persian)

Bautista, E., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Schlegel, J. (2009). Modern analysis of surface irrigation ystems with WinSRFR, Agricultural Water Management.

Bautista, E., Schlegel, J.L. and Strelkoff, T.S. (2012). WinSRFR 4.1 - User Manual. USDA-ARS Arid Land Agricultural Research Center. 21881 N. Cardon Lane, Maricopa, AZ, USA.

Beykzadeh, E., A.N., Ziaei, K. and Davari, Ansari, H. (2014). Optimization of Inflow Rate and Cutoff Time using the Full Hydrodynamic Model, Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 8(2): 377-385. (In Persian)

Chen, B., Ouyang, Z., Zhang, S.H. (2012). Evaluation of hydraulic process and performance of border irrigation with different regular bottom configurations. Journal Resources Ecology, 3(2): 151–160.

Eldeiry, A., Garcia, L., Ei-Zaher, A.S.A. and El-Sherbini Kiwan, M. (2005). Furrow Irrigation System Design for Clay Soils in Arid Regions. Applied Engineering in Agriculture, 21(3): 411-420.

Elliott, R. L. and Walker, W. R. (1982). Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transactions of the ASAE, 25(2): 396-0400.

Gillies, M. H., Smith, R. J. and Raine, S. R. (2008). Measurement and Management of Furrow Irrigation at the Field Scale.Irrigation Australia 2008-Share the Water ،Share the Benefits: Irrigation Australia National Conference and Exhibition, Melbourne, Australia.

Gudissa, H.D. and Edossa., D.C. (2014). Evaluation of surge and cutback flow furrow irrigation systems for pepper (capcicum annuum) production. Irrigation and Drainage, 63(4): 463-473.

Hamdi Ahmadabad, Y. (2016). Evaluating the performance of irrigation systems for effective use of water (Case study: Moghan Plain), Master Thesis, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran. (In Persian)

Hamdi Ahmadabad, Y., Liaghat, A., Sohrabi, T. and Rasoulzadeh, A. and Nazari, B. (2016). Performance evaluation of furrow systems in corn farms to improve irrigation efficiency under farmer management (Case study: Moghan Agro-industry and husbandry), Journal of Water and Irrigation Management, 6(1): 15-28. (In Persian)

Heydari, N. and Abbasi, F. (2016). Optimization of Design and Management Parameters of Border Irrigation: A Case Study of Ramshir Irrigation and Drainage Network, Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 17(66):55-70. (In Persian)

Kanuni, A. (2007). Evaluation of furrow irrigation efficiency under different managements in Moghan region, Agricultural Engineering Research Quarterly, 8 (2): 17. (In Persian)

Kifle, M., Tilhun, K. and Yazew, E. (2008). Evaluation of surge flow furrow irrigation for onion production in a semiarid region of Ethiopia. Irrigation Science, 26(4): 325-333.

Mazarei, R., Mohammadi, A. S., Naseri, A. A., Ebrahimian, H. and Izadpanah, Z. (2020). Optimization of furrow irrigation performance of sugarcane fields based on inflow and geometric parameters using WinSRFR in Southwest of Iran, Agricultural Water Management, 228: 105899.

Mokari Gahroodi, E. Liaghat, A.M. and Nahvinia, M.J. (2013). Application of WinSRFR3.1 Model in Furrow Irrigation Simulation, Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 7(1): 59. (In Persian)

Morris, M.R., Hussain, A., Gillies, M.H., Halloran, N.J. (2015). Inflow rate and border irrigation performance, Agricultural Water Management, 155: 76–86.

Nahvinia, M.J. Liaghat, A.M. and Abbasi, F. (2019). The evaluation of irrigation network by using classic and new concepts of irrigation efficiency (Case study: Hamody irrigation system of khozestan), Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(3): 567-579. (In Persian)

Navabian, M., Liaghat, A. M., Smith, R. J. and Abbasi, F. (2009). Empirical Functions for Dependent Variables in Cutback Furrow Irrigation. Irrigation Science, 27(3): 215-222.

Nie, W. B., Fei1, L. J. and X. Y. Ma. (2014). Applied Closed-end Furrow Irrigation Optimized Design Based on Field and Simulated Advance Data. Journal of Agricultural Science and Technology, (16): 395-408.

Nie, W.B., Li, Y.B., Zhang, F., Ma, X.Y. (2019). Optimal discharge for closed-end border irrigation under soil infiltration variability. Agricultural Water Management, 221: 58–65.

Qasemzadeh Majari, F. (1998). Evaluation of farm irrigation systems (translation). Second edition, Astan Qad Razavi Publications, 329 p. (In Persian)

Rezaverdinejad, V., Jonoobi, R., Besharat, S. and Abbasi, F. (2016). Investigation and analysis of flow and geometric variables on optimal performance of border irrigation using WinSRFR model, Iranian Journal of Soil and Water Research, 46(4): 695-706.

Riahifarsani, H., Nouriimamzadehei, M.R., Fatahinafchi, R. and Tabatabaee, S.H. (2014). Evaluating of Furrow Irrigation Systems in Shakrekord, Borojen and Khanmirza plains, Irrigation Sciences and Engineering, 37(2): 95-104. (In Persian)

Roldán-Cañas, J., Chipana, R., Moreno-Pérez, M. and Chipana, G. (2015). Description and Evaluation of Zigzag Furrow Irrigation in the Inter-Andean Valleys of Bolivia. Irrigation and Drainage Engineering, 141(11): *04015019* 1-10.

Smith, R.J., Raine, S.R. and Minkevich, J. (2005). Irrigation application efficiency and deep drainage potential under surface irrigated cotton, Agricultural Water Management**,** 71(2):117-130.

Soleimani H. and Hassanli, A. (2008). Estimation of water unit cost, water use efficiency and water added value for major crops in Darab as an arid land, Iranian Journal of Dynamic Agriculture, 5(1): 45. (In Persian)

Tafteh, A., Reaza Emdad, M. and Ghalebi, S. (2017). Investigation of effective factors on water use efficiency of border irrigation at actual and extensible root zone depth of wheat in Hamidieh (Khuzestan), Journal of Water and Soil Resources Conservation, 6(4): 75. (In Persian)

Taghizadeh, Z., Verdinejad, V.R., Ebrahimian, H. and KhanmohammadiN. (2013). Field Evaluation and Analysis of Surface Irrigation System with WinSRFR (Case Study Furrow Irrigation), Journal of Water and Soil, 26(6): 1450-1459.

Unlu, M., Kanber, R., Onder, S., Sezen, M., Diker, K., Ozekici, B. and Oylu, M. (2007). Cotton yields under different furrow irrigation management techniques in the Southeastern Anatolia Project (GAP) area, Turkey. Irrigation science, 26(1): 35-48.

Valipour, M. and Montazar, A. A. (2012). An Evaluation of SWDC and WinSRFR Models to Optimize of Infiltration Parameters in Furrow Irrigation. American Journal of Scientific Research, 69: 128- 142.

Walker, W.R., Skogerboe, G.V. (1987). Surface Irrigation:' Theory and Practice'. Prentice- Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

WU, D., XUE, J., BO, X. (2017). Simulation of irrigation uniformity and optimization of irrigation technical parameters based on the SIRMOD model under alternate furrow irrigation. Irrigation and Drainage, 66: 478–491.

Xu, J., Cai, H., Saddique, Q., Wang, X., Li, L., Ma, C., Lu, Y. (2019). Evaluation and optimization of border irrigation in different irrigation seasons based on temporal variation of infiltration and roughness. Agriculture Water Management, 214: 64–77.