نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۲۳۷-۱۲۲۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1226-1237

مقاله علمی-پژوهشی

طراحی روش آبیاری جویچه‌ای با هدف افزایش اجرا پذیری و کاهش هزینه کارگری به‌صورت تک هدفه

احسان پازوکی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۳

چکیده

افزایش بهره‌وری در به‌کارگیری منابع کشاورزی همواره موردتوجه بوده است. آب یکی از محوری‌ترین و مؤثرترین منابع موردنیاز در کشاورزی است. روش آبیاری سطحی به روش جویچه‌ای یکی از پراستفاده‌ترین روش‌های آبیاری است. معمولاً روش‌های آبیاری با هدف افزایش کیفیت که به‌صورت کمی نیز قابل‌اندازه‌گیری است، طراحی می‌شوند. علاوه بر کیفیت، اجرا پذیری و هزینه کارگری موردنیاز برای آبیاری دو عامل مهم دیگری هستند که در صورت عدم توجه به آن‌ها کیفیت بالقوه مورد انتظار از روش آبیاری در عمل تحقق‌پذیر نخواهد بود؛ اما در اکثر مدل‌های طراحی روش آبیاری صرفاً کیفیت موردتوجه بوده است. در این پژوهش مدلی مبتنی بر شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برای طراحی روش آبیاری جویچه‌ای با هدف افزایش اجرا پذیری، کاهش هزینه کارگری در کنار افزایش کیفیت ارائه شده است. این مدل از روش خبره فازی که بر اساس دانش کشاورزان باسابقه آماده‌شده برای کمی سازی میزان هزینه کارگری و اجرا پذیری طرح آبیاری استفاده می‌کند. آزمایش‌هایی بر اساس داده‌های چندین مزرعه مختلف انجام شد که کیفیت مدل پیشنهادی را تائید نمود. هم‌چنین با مقایسه نتایج مشخص شد روش پیشنهادی به‌صورت متوسط منجر به کاهش ۱۰ درصدی میزان هزینه کارگری و افزایش ۹ درصدی میزان اجرا پذیری شده است.

واژه‌های کلیدی: اجرا پذیری روش آبیاری، روش آبیاری جویچه‌ای، هزینه کارگری

مقدمه

اکثر طراحی‌های مهندسی که در حوزه کشاورزی به‌صورت گسترده استفاده می‌شود، همچنان بر پایه روش‌های سنتی است (Walker, 2003). ازآنجاکه به‌کارگیری تکنولوژی‌های مدرن و جدید نیاز به زیرساخت‌های ویژه و مهارت و آموزش‌های تکمیلی دارد که برای اکثر کشاورزان در دسترس نیست، لذا ضریب نفوذ این تکنولوژی‌ها در کاربردهای معمول کشاورزی قابل‌قبول و مطلوب نیست. یکی از طراحی‌هایی که کشاورزان همواره با آن مواجه هستند، طراحی روش آبیاری برای آبیاری مزرعه است (Walker and Skogerboe, 1987). باوجود تنوع قابل‌توجه و پیشرفت‌های انجام‌شده در خصوص تکنولوژی‌های آبیاری اما همچنان درصد قابل‌توجهی از مزارع کشاورزی به‌صورت آبیاری سطحی و با روش سنتی آبیاری می‌شود. ازآنجاکه نوع روش آبیاری در بهره‌وری استفاده از آب بسیار مؤثر است و هم‌چنین عملکرد روش آبیاری تأثیرات محیط زیستی قابل‌توجهی نیز دارد، لذا طراحی روش آبیاری نیازمند توجه ویژه است. البته طی سال‌های گذشته پژوهش‌های گسترده‌ای در این خصوص انجام‌گرفته و تلاش شده تا با بهره‌گیری از ابزارهای مدل‌سازی و محاسباتی نوین، روش‌های آبیاری سطحی مطلوب‌تری طراحی شود؛ اما همان‌گونه که در ابتدای این بخش مطرح شد، در اکثر مدل‌های ارائه‌شده اجرا پذیری روش آبیاری متناسب محدودیت‌ها و شرایط مزرعه در نظر گرفته نشده است. در مدل‌های ارائه‌شده تمرکز اصلی بر کیفیت عملکرد روش آبیاری است، در حالی که اگر روش آبیاری پیشنهادشده با ملاحظات، محدودیت‌ها و مهارت‌های کشاورزان و نیروکار در اختیار آن‌ها هماهنگ نباشد، کیفیت اسمی حاصل از مدل‌های محاسباتی در عمل قابل‌دستیابی نیست. لذا مدلی مطلوب‌تر است که علاوه بر کیفیت عملکرد، اجرا پذیری و محدودیت‌های مزرعه را نیز در نظر بگیرد (Drury, Valverde-Rebaza, Moura, and de Andrade Lopes, 2017).

۱- استادیار، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، تهران، ایران (Email: ehsan.pazouki@sru.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.5.20.8

در خصوص طراحی روش آبیاری سطحی و ارزیابی عملکرد آن پژوهش‌ها و تئوری‌های جامعی وجود دارد. تحلیل‌های جامع و کاربری مطلوبی در متون مختلف، جهت طراحی روش آبیاری سطحی ارائه شده است (عباسی، ۱۳۹۱). برای مثال آقای واکر و همکاران طی سال‌های ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۳ مجموعه روابط و روال‌هایی معرفی کرده‌اند که امکان طراحی روش آبیاری سطحی و ارزیابی دقیق آن را مبتنی بر سایر اصول مهندسی فراهم می‌نماید (Elliott, R. Walker, and V. Skogerboe, 1983; Walker, 1989, 2003; Walker and Skogerboe, 1987). با توجه به تعداد پارامترهای مؤثر روش آبیاری و اینکه اکثر آن‌ها اعداد پیوسته با بازه تغییرات نسبتاً بزرگ هستند، لذا فضای جستجوی مطرح در طراحی روش آبیاری فضایی نسبتاً بزرگ است. هم‌چنین، محدودیت‌ها و ملاحظاتی که در خصوص طراحی یک روش آبیاری قابل‌پذیرش وجود دارد، روال جستجو و طراحی آن را پیچیده‌تر می‌کند. واکر در کتاب‌هایش مجموعه روابط و روال‌های محاسبات عددی که مبتنی بر مدل موازنه حجم[1] است را ارائه نموده که بر اساس پارامترهای روش آبیاری کیفیت آن را از نظر عملکرد، بهره‌وری آب و کیفیت آب‌رسانی به محصولات در قالب چند شاخص کیفیت محاسبه می‌کند (Walker, 1989; Walker and Skogerboe, 1987). بر اساس مدل‌سازی‌های ارائه‌شده، چندین نرم‌افزار شبیه‌ساز از جمله نرم‌افزارهای WinSRFR، SIRMOD و SURDEV برای شبیه‌سازی عملکرد روش آبیاری ارائه شده است. در برخی از پژوهش‌ها بر اساس نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ارائه‌شده روش‌های آبیاری مطلوبی طراحی شده‌اند (Bautista, Clemmens, Strelkoff, and Niblack, 2009; Garcia, 2014; Walker, 2003) برای نمونه بوتیستا و همکاران دبی ورودی آب به مزرعه و زمان مناسب قطع آب را در آبیاری سطحی به روش کرتی به کمک نرم‌افزار WinSRFR مورد ارزیابی و پژوهش قرار دادند (Bautista et al., 2009). در پژوهش دیگری سالاهو و همکاران تأثیر زمان قطع آب و شیب پایین مزرعه را در روش آبیاری کرتی برای کشت گندم به کمک نرم‌افزار WinSRFR پژوهش کرده‌اند (Salahou, Jiao, and Lü, 2018). هم‌چنین، مزارعی و همکاران با استفاده از ابزار WinSRFR برای بهینه‌سازی دبی ورودی آب، شیب و طول مزرعه در روش آبیاری جویچه‌ای مطالعاتی را انجام دادند (Mazarei, Mohammadi, Naseri, Ebrahimian, and Izadpanah, 2020). آزاد و همکاران عملکرد روش آبیاری جویچه‌ای را بر اساس دو دبی آب مختلف برای جویچه‌های با طول ۸۰ متر به کمک نرم‌افزار SIRMOD تحلیل و بهینه‌سازی کرده‌اند (آزاد و همکاران، ۱۳۹۶). رضایی راد و همکاران از نرم‌افزار WinSRFR برای تخمین ضریب زبری مانینگ استفاده کرده‌اند که یکی از پارامترهای مهم و مؤثر در تحلیل‌های عددی آبیاری سطحی است (رضایی راد و همکاران، ۱۴۰۰). در بسیاری از کارهای پژوهشی نرم‌افزارها و شبیه‌سازهای طراحی‌شده به‌عنوان ابزاری برای صحت‌سنجی مدل‌سازی‌ها استفاده می‌شوند. برای مثال بیک زاده و همکاران میزان جریان آب ورودی و زمان آبیاری را در روش آبیاری جویچه‌ای به کمک مدل هیدرودینامیک کامل بهینه نموده‌اند و نتایجشان را با شبیه‌ساز SIRMOD مقایسه کرده‌اند (بیک زاده و همکاران، ۱۳۹۳).

پژوهش‌های دیگری نیز با هدف طراحی روش آبیاری انجام شده است که با استفاده از الگوریتم‌ها و ابزارهای محاسباتی و مدل‌سازی نوین، مدل‌های شبیه‌ساز–بهینه‌ساز معرفی کرده‌اند که در این مدل‌ها با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، روش‌های آبیاری را طراحی می‌کنند و سپس به کمک شبیه‌سازی‌های عددی کیفیت طراحی‌های انجام‌شده را در طی روال اجرای الگوریتم‌های بهینه‌ساز، بهبود می‌بخشند. در همین راستا در ادامه‌ی این بخش نمونه‌هایی از این نوع مدل‌های شبیه‌ساز–بهینه‌ساز ارائه می‌شوند. آقای اکبری و همکاران با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری مدل شبیه‌ساز–بهینه‌سازی تحت عنوان مدل EDOSIM معرفی کرده‌اند (Akbari, Gheysari, Mostafazadeh-Fard, and Shayannejad, 2018). در مدل EDOSIM به کمک مدل موازنه حجم روش آبیاری سطحی جویچه‌ای، نواری و کرتی شبیه‌سازی شده است. هم‌چنین از ۲۰ الگوریتم بهینه‌سازی فرا ابتکاری برای یافتن روش آبیاری بهینه در کنار هفت شاخص کیفی شامل راندمان عملکردی، راندمان نیاز آبی، راندمان آبیاری، یکنواختی توزیع، راندمان توزیع، درصد نفوذ نامطلوب عمقی و درصد رواناب سطحی استفاده شده است. صابری و همکاران نیز با مدل‌سازی روش آبیاری برای روش‌های آبیاری جویچه‌ای در قالب یک مسئله چند هدفه پارامترهای دبی آب ورودی، طول مزرعه و زمان قطع آب را برای طراحی روش آبیاری بهینه، محاسبه می‌کنند (Saberi, Siuki, Pourreza-Bilondi, and Shahidi, 2020). پازوکی نیز با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه و مدل موازنه حجم برای بهینه‌سازی روش آبیاری در روش‌های جویچه‌ای، نواری و کرتی مدل شبیه‌ساز–بهینه‌ساز متفاوتی ارائه کرده است (Pazouki, 2021). در این پژوهش به‌منظور اجرا پذیر نمودن طراحی، عملکرد روش آبیاری در اولین آبیاری و آبیاری‌های بعدی در مدل‌سازی لحاظ شده است. هم‌چنین با توجه به هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای روش آبیاری نیز مدل‌سازی در دو حالت مختلف ارائه شده است که اجرا پذیری و هزینه کارگری متفاوتی دارند. در این پژوهش‌ها با در نظر گرفتن برخی قیود مهم تلاش شده است روش آبیاری حاصل‌شده، اجرا پذیر باشد، اما اجرا پذیری و میزان هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای روش آبیاری به‌صورت مستقیم موردتوجه نبوده است. تخمین میزان هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای روش آبیاری در چندین پژوهش موردتوجه بوده است. آموسون

1- Volume Balance model

و همکاران با بررسی هزینه اجرای چهار روش آبیاری مختلف بر مبنای هزینه در هکتار برای شرایط مختلف امکان‌سنجی اقتصادی در خصوص چهار روش آبیاری مختلف ارائه نمایند (Amosson et al., 2011). در این پژوهش تلاش نیروی انسانی به‌صورت مستقل بررسی نمی‌شود بلکه صرفاً هزینه ریالی اجرا موردنظر است. در سایر پژوهش‌های مشابه نیز از جمله در پژوهش انجام‌شده توسط ال-غفاری هدف اصلی تخمین هزینه موردنیاز برای آبیاری است و هزینه کارگری به‌صورت مستقل بررسی (Al-Ghafri, 2005) نشده است. بر همین اساس در این پژوهش تمرکز اصلی بر تخمین میزان هزینه کارگری و اجرا پذیری روش آبیاری و به‌کارگیری این تخمین در فرآیند بهینه‌سازی هست. به‌منظور تخمین کمی میزان هزینه کارگری و اجرا پذیری از دانش افراد خبره و کشاورزان سنتی باسابقه در قالب طراحی روش خبره فازی استفاده شده است. به‌منظور اطلاع از پژوهش‌هایی که مرتبط با روش خبره فازی در زمینه روش‌های کشاورزی هستند نیز مطالعاتی انجام گرفت. بر اساس مطالعات انجام‌گرفته مشخص شد، استفاده از مدل‌سازی‌های مبتنی بر روش خبره فازی برای بهره‌گیری از دانش افراد خبره در حوزه کشاورزی و آبیاری نتایج مطلوبی ارائه می‌کند به‌خصوص اگر در قالب مدل‌های ترکیبی در کنار سایر ابزارهای مدل‌سازی از آن استفاده شود (Hoseini, 2019; Kambalimath and Deka, 2020; Quanxing, Chwan-Hwa, and Tilt, 1996; Saruwatari and Yomota, 1995). لذا، در این پژوهش با تمرکز ویژه بر میزان اجرا پذیری و هزینه کارگری موردنیاز برای اجرا روش آبیاری تلاش شده است، روش آبیاری طراحی شود که هم کیفیت عملکردی مطلوبی داشته باشد و هم به لحاظ اجرا پذیری و هزینه کارگری موردنیاز از کیفیت مطلوبی برخوردار باشد. بر این اساس انتظار می‌رود، مدل پیشنهادی امکان طراحی روش آبیاری کارآمد با اجرا پذیری مطلوب و میزان هزینه کارگری کمتر را فراهم نماید. در ادامه مقاله جزئیات مدل پیشنهادی و نحوه به‌کارگیری روش خبره فازی در کنار الگوریتم‌های بهینه‌ساز فرا ابتکاری به‌منظور طراحی روش آبیاری مطلوب ارائه می‌شود.

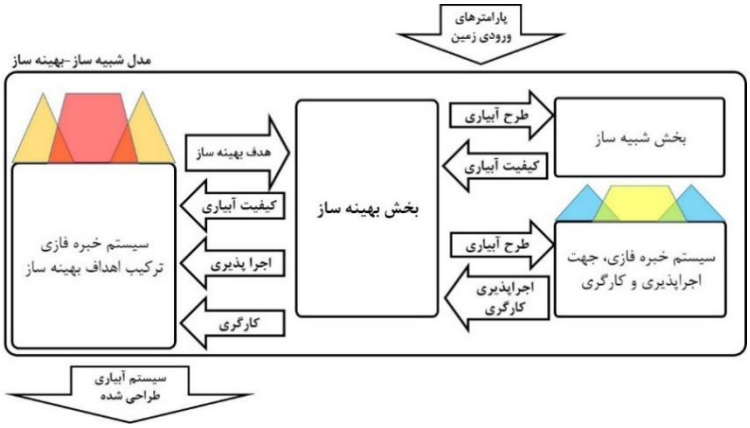
مواد و روش‌ها

به‌منظور طراحی روش آبیاری مطلوب در این پژوهش مدل شبیه‌سازی – بهینه‌سازی معرفی می‌شود که بر اساس روابط و روال‌های محاسباتی عددی مبتنی بر مدل موازنه حجم از پارامترهای روش طراحی شاخص‌های کیفی آن را محاسبه می‌کند. سپس، به کمک چند روش خبره فازی طراحی‌شده مبتنی بر دانش افراد خبره میزان اجرا پذیری و هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای طرح روش آبیاری را به‌صورت کمی تخمین می‌زند. در نهایت به کمک چند الگوریتم بهینه‌سازی فرا ابتکاری پارامترهای روش آبیاری را در راستای افزایش کیفیت و اجرا پذیری و کاهش میزان هزینه کارگری بهینه می‌نماید. در ادامه جزئیات مدل پیشنهادی ارائه شده است. معماری کلی روش پیشنهادی و نحوه تعامل بخش شبیه‌ساز، روش خبره فازی و بخش بهینه‌ساز در شکل ۱ ارائه شده است.

در بخش شبیه‌سازی مدل پیشنهادی، به‌منظور ارزیابی عملکرد روش آبیاری طراحی‌شده بر اساس مدل موازنه حجم کیفیت عملکرد روش آبیاری طراحی‌شده محاسبه می‌شود. کلیه روابط و روال‌های عددی استفاده‌شده در این بخش بر مبنای چهار منبع (Elliott et al., 1983; Walker, 1989, 2003; Walker and Skogerboe, 1987) است. در این بخش از مقاله برخی از روابطی که در بخش شبیه‌سازی مدل پیشنهادی بکار رفته‌اند، ارائه شده است.

در قدم اول رابطه مبتنی بر مدل موازنه حجم و رابطه نفوذ کاستیاکف-لوئیس به شکل رابطه (۱) مبنای محاسبات قرار می‌گیرد.

$$Q_0 t = 0.77 A_0 x + \sigma_z k t^a x + \frac{f_0 t x}{1+r} \qquad (۱)$$



شکل ۱ – معماری مدل پیشنهادی

در این رابطه پارامترهای مهم روش آبیاری شامل سطح مقطع جویچه‌ها، پارامترهای اولیه ضریب نفوذ آب و پارامترهای کوستیاکف–لوئیس برای محاسبه ارتباط بین زمان و فاصله جبهه سطحی آب تا محل ورود آب استفاده می‌شود.

بر مبنای رابطه (۱) و چند روال عددی پارامترهای بسیار مهم زمان قطع، زمان پیشروی، زمان پسروی و عمق نفوذ محاسبه می‌شوند. بر اساس پارامترهای محاسبه‌شده می‌توان شاخص‌های کیفی مطرح در خصوص روش آبیاری را محاسبه نمود. بر همین اساس در رابطه (۲) راندمان عملکردی روش آبیاری سطحی جویچه‌ای محاسبه می‌شود.

$$E_a = \frac{Z_{req}L}{Q_0 t_{CO}} \quad (۲)$$

در رابطه (۳) راندمان نیاز آبی بر اساس کیفیت آبیاری مطلوب محاسبه می‌شود،

$$E_r = \frac{Z_{req}x_d + V_{zi}}{Z_{req}L} \quad (۳)$$

در رابطه (۴) یکنواختی توزیع آب در ۲۵ درصد انتهایی مزرعه محاسبه می‌شود،

$$DU = \frac{4.0V_{lq}}{V_{rz}+V_{dp}} \quad (۴)$$

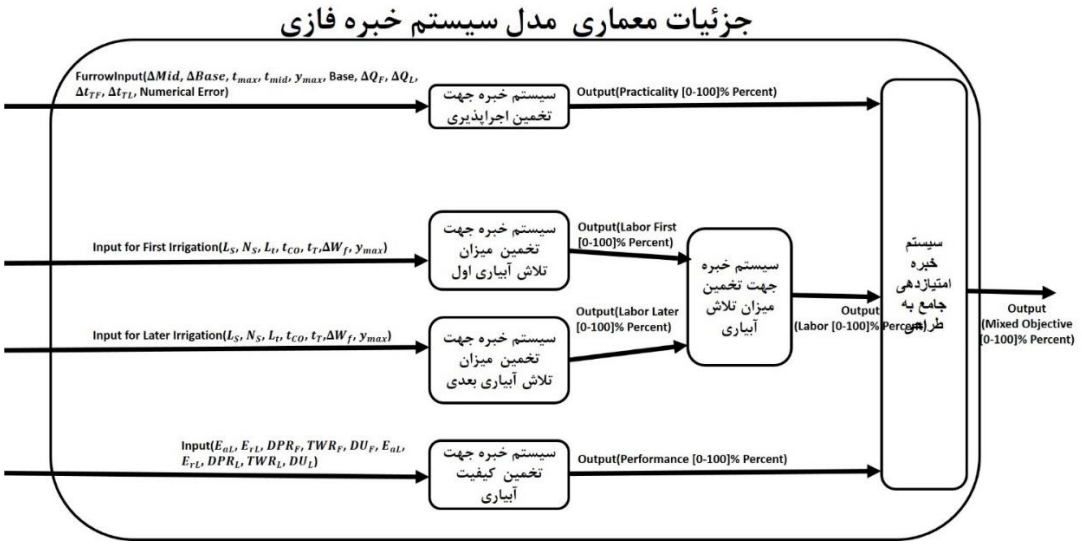
در رابطه (۵) درصد نفوذ نامطلوب آب در عمق بیش از عمق ریشه محاسبه می‌شود،

$$DPR = \frac{V_z - Z_{req}L}{Q_0 t_{CO}} \quad (۵)$$

سایر روابط نیز در (Elliott et al., 1983; Walker, 1989, 2003; Walker and Skogerboe, 1987) ارائه شده است.

روش خبره فازی یکی از ابزارهای مناسب برای مدل‌سازی دانش افراد خبره برای ساخت مدل محاسباتی و کمی سازی دانش‌های کیفی می‌باشد.

در این پژوهش از روش خبره فازی برای مدل‌سازی میزان اجرا پذیری و هزینه کارگری موردنیاز برای پیاده‌سازی روش آبیاری سطحی در مزارع جویچه‌ای استفاده شده است. روش خبره فازی از چهار مؤلفه اصلی تشکیل شده است. بخش فازی سازی روش خبره فازی با تعامل با ورودی‌های مدل که به‌صورت غیر فازی یا به‌عبارت‌دیگر دقیق هستند ورودی‌هایی را تولید می‌کند که به‌صورت اعداد فازی هستند و امکان استفاده از آن‌ها در سایر مؤلفه‌های روش خبره فازی فراهم است. بخش دوم روش خبره فازی، موتور استنتاج آن است که با بهره‌گیری از پایگاه دانش فازی بر اساس ورودی‌های به مدل‌های فازی، خروجی مناسب را حاصل می‌کند. در نهایت به کمک بخش غیر فازی سازی، خروجی فازی تولیدشده از مرحله قبل به شکل یک عدد دقیق غیر فازی به‌عنوان خروجی نهایی مدل فازی ارائه می‌شود. بر اساس نیازمندی‌های مدل پیشنهادی ۵ روش خبره فازی مجزا برای تخمین بخش‌های مختلف مدل طراحی شده است. معماری کلی روش‌های فازی طراحی‌شده و نحوه تعامل آن‌ها در مدل پیشنهادی در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲ – معماری تفصیلی روش خبره فازی طراحی‌شده

بر اساس معماری ارائه‌شده مجموعه مدل‌های فازی طراحی‌شده با دریافت پارامترهای روش آبیاری به‌عنوان ورودی در خروجی عددی بین ۰ تا ۱۰۰ ارائه می‌کند که بیان‌کننده توأم میزان کیفیت، اجرا پذیری و هزینه کارگری موردنیاز روش آبیاری طراحی شده است. در

ادامه جزئیات طراحی ۵ روش‌های خبره فازی ارائه‌شده‌اند.

اولین روش خبره فازی برای تخمین و کمی سازی میزان اجرا پذیری طراحی شده است. جزئیات این روش در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است. در این روش بر اساس فاصله بین زمان کل آبیاری حاصل از طراحی و زمان در اختیار داشتن دوره‌ای آب کشاورز، فاصله بین دبی حداکثر تحمل‌پذیر توسط خاک مزرعه و دبی روش آبیاری طراحی شده، مشخصات هندسی سطح مقطع جویچه‌ها و احتمال وقوع خطا در روال‌های محاسبات عددی بخش شبیه‌ساز عددی بین ۰ تا ۱۰۰ به‌عنوان میزان اجرا پذیری گزارش می‌شود که هر اندازه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده اجرا پذیری بهتر روش آبیاری طراحی شده است.

دومین روش خبره فازی برای تخمین و کمی سازی میزان کیفیت روش آبیاری طراحی شده است. جزئیات این روش در شکل ۳ و ۴شکل ۳ ارائه شده است. در این روش بر اساس مقدار شاخص‌های کمی کیفیت که در بخش شبیه‌ساز ارائه شده‌اند عددی بین ۰ تا ۱۰۰ به‌عنوان میزان کیفیت عملکرد روش آبیاری گزارش می‌شود که هر اندازه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده کیفیت بهتر روش آبیاری طراحی شده است.

سومین روش خبره فازی برای تخمین و کمی سازی میزان هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای روش آبیاری طراحی شده است. جزئیات این روش در شکل ۳ و ۴شکل ۳ ارائه شده است. در این روش بر اساس فاصله بین ردیف‌های، طول مزرعه و طول هر قطعه مزرعه در تقطیع طولی، زمان کل آبیاری و زمان قطع آب، حداکثر عمق ردیف‌ها، تعداد قطعات مزرعه در راستای طول و عرض عددی بین ۰ تا ۱۰۰ به‌عنوان میزان هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای روش آبیاری گزارش می‌شود که هر اندازه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده هزینه کارگری بیشتر است.

چهارمین روش خبره فازی برای تخمین و کمی سازی میزان هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای روش آبیاری در اولین و آبیاری‌های بعدی به‌صورت توأم طراحی شده است. جزئیات این روش در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است. در این روش بر اساس میزان هزینه کارگری تخمین زده شده برای آبیاری اولین و مراحل بعدی عددی بین ۰ تا ۱۰۰ به‌عنوان میزان هزینه کارگری کل موردنیاز برای اجرای روش آبیاری گزارش می‌شود که هر اندازه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده هزینه کارگری بیشتر است.

پایگاه قوانین سیستم خبره تخمین کیفیت

RULE 1 : if Eaf is low or Eal is low or Erf is low or Erl is low then obj is low
RULE 2 : if DPRf is high or DPRl is high or TWRf is high or TWRl is high then obj is low
RULE 3 : if Eaf is medium and Eal is medium and Erf is high and Erl is high then obj is medium
RULE 4 : if Eaf is high and Eal is low and Erf is high and Erl is high then obj is medium
RULE 5 : if Eaf is low and Eal is high and Erf is high and Erl is high then obj is medium
RULE 6 : if Eaf is medium and Eal is medium and DPRf is not high and DPRl is not high and TWRf is not high and TWRl is not high then obj is medium
RULE 7 : if (TWRf is low and TWRl is medium) or (TWRf is medium and TWRl is low) or (DPRf is low and DPRl is medium) or (DPRf is medium and DPRl is low) then obj is medium
RULE 8 : if Eaf is medium and Eal is medium and Erf is medium and Erl is medium and DUf is medium and DUl is medium and DPRf is low and DPRl is low and TWRf is low and TWRl is low then obj is medium
RULE 9 : if Eaf is high and Eal is high and Erf is high and Erl is high and (DUf is low or DUl is low) and DPRf is low and DPRl is low and TWRf is low and TWRl is low then obj is medium
RULE 10 : if Eaf is high and Eal is medium and Erf is high and Erl is high then obj is highMe
RULE 11 : if Eaf is medium and Eal is high and Erf is high and Erl is high then obj is highMe
RULE 12 : if Eaf is low and Eal is high and (DPRf is low and DPRl is low) then obj is highMe
RULE 13 : if Eaf is high and DPRf is medium and DPRl is medium and TWRf is medium and TWRl is medium then obj is highMe
RULE 14 : if Eaf is high and DPRf is medium and DPRl is medium and TWRf is medium and TWRl is medium then obj is highMe
RULE 15 : if (Eaf is medium and Eal is medium) and (DPRf is low and DPRl is low) and (TWRf is low and TWRl is low) then obj is highMe
RULE 16 : if Eaf is high and Eal is high and Erf is high and Erl is high and DUf is high and DUl is high and DPRf is low and DPRl is low and TWRf is low and TWRl is low then obj is high
RULE 17 : if Eaf is high and Eal is high and Erf is high and Erl is high and (DUf is medium or DUl is medium) and DPRf is low and DPRl is low and TWRf is low and TWRl is low then obj is high
RULE 18 : if ((Eaf is high and Eal is medium) or (Eaf is medium and Eal is high)) and (DPRf is low and DPRl is low and TWRf is low and TWRl is low) then obj is high
RULE 19 : if Eaf is high and Eal is high and Erf is medium and Erl is medium and DPRf is medium and DPRl is medium and TWRf is medium and TWRl is medium then obj is high

پایگاه قوانین سیستم خبره تخمین اجراپذیری

RULE 1 : if deltaMid is **low** or deltaBase is **low** then prac is **impract** with 10
RULE 2 : if deltaQF is **high** or deltaQL is **high** or deltaTTF is **high** or deltaTTL is **high** then prac is **impract**
RULE 3 : if numError is werror then prac is impract with 10
RULE 4 : if deltaMid is not **low** and deltaBase is not **low** and numError is **good** and (deltaMid is **not low** or deltaBase is **not low**) then prac is **medium**
RULE 5 : if deltaQF is **low** and deltaQL is **low** and deltaTTF is **low** and deltaTTL is **low** and numError is **good** and (deltaMid is **not low** or deltaBase is **not low**) then prac is **medium**
RULE 6 : if ((deltaMid is **high** and deltaBase is **medium**) or (deltaMid is **medium** and deltaBase is **high**)) and numError is **good** and (deltaMid is **not low** or deltaBase is **not low**) then prac is **medium**
RULE 7 : if (tMax is **narrow** or tMid is **narrow** or base is **narrow** or yMax is **narrow**) and numError is **good** and (deltaMid is **not low** or deltaBase is **not low**) then prac is **medium**
RULE 8 : if deltaMid is **medium** and deltaBase is **medium** and numError is **good** and (deltaMid is **not low** or deltaBase is **not low**) then prac is **semiPract**
RULE 9 : if (deltaQF is **not high** or deltaQL is **not high** or deltaTTF is **not high** or deltaTTL is **not high**) and numError is **good** and (deltaMid is **not low** or deltaBase is **not low**) then prac is **semiPract**
RULE 10 : if (tMax is **medium** and tMid is **medium** and base is **medium** and yMax is **medium**) and numError is **good** and (deltaMid is **not low** or deltaBase is **not low**) then prac is **semiPract**
RULE 11 : if deltaQF is **low** and deltaQL is **low** and deltaTTF is **low** and deltaTTL is **low** and deltaMid is **medium** and deltaBase is **medium** and numError is **good** then prac is **fullPract**
RULE 12 : if tMax is **medium** and tMid is **medium** and yMax is **medium** and base is **medium** and deltaMid is **medium** and deltaBase is **medium** and numError is **good** then prac is **fullPract**
RULE 13 : if tMax is **wide** or tMid is **wide** or base is **wide** or yMax is **wide** then prac is **semiImpract**

پایگاه قوانین سیستم خبره تخمین امتیاز دهی جامع

RULE 1 : if (LABOR is excessive and PRACT is impract and OBJ is low) then singleObj is low
RULE 2 : if (LABOR is excessive and PRACT is impract and OBJ is high) then singleObj is low
RULE 3 : if (LABOR is excessive and PRACT is impract and OBJ is medium) then singleObj is low
RULE 4 : if (PRACT is impract) then singleObj is low
RULE 5 : if (OBJ is low) then singleObj is low
RULE 6 : if (LABOR is many and PRACT is semiImpract and (OBJ is lowMe or OBJ is low)) then singleObj is lowMe
RULE 7 : if (LABOR is excessive and PRACT is semiImpract and OBJ is lowMe) then singleObj is lowMe
RULE 8 : if (LABOR is excessive and PRACT is semiImpract and OBJ is highMe) then singleObj is lowMe
RULE 9 : if (LABOR is excessive and PRACT is semiImpract and OBJ is medium) then singleObj is lowMe
RULE 10 : if OBJ is lowMe or PRACT is semiImpract then singleObj is lowMe
RULE 11 : if (LABOR is excessive and PRACT is fullPract and OBJ is high) then singleObj is medium
RULE 12 : if (LABOR is medium and PRACT is medium and OBJ is highMe) then singleObj is medium
RULE 13 : if (LABOR is many and PRACT is semiPract and OBJ is medium) then singleObj is medium
RULE 14 : if (OBJ is medium or LABOR is many) and (PRACT is not impract) then singleObj is medium
RULE 15 : if (LABOR is good and PRACT is fullPract and OBJ is medium) then singleObj is highMe
RULE 16 : if (LABOR is good and PRACT is fullPract and OBJ is highMe) then singleObj is high
RULE 17 : if (LABOR is medium and PRACT is medium and OBJ is high) then singleObj is highMe
RULE 18 : if OBJ is highMe then singleObj is highMe
RULE 19 : if (LABOR is good and PRACT is fullPract and OBJ is high) then singleObj is high
RULE 20 : if (LABOR is good and PRACT is fullPract and OBJ is highMe) then singleObj is high
RULE 21 : if (LABOR is normal and PRACT is semiPract and OBJ is high) then singleObj is high
RULE 22 : if (LABOR is normal and PRACT is medium and OBJ is high) then singleObj is high

پایگاه قوانین سیستم خبره تخمین تلاش آبیاری توام اول و بعدی

RULE 1 : if (LABORF is **good** and LABORL is **good**) or (LABORF is **normal** and LABORL is **good**) or (LABORF is **good** and LABORL is **normal**) then LABOR is **good**
RULE 2 : if LABORF is **good** or LABORL is **good** then LABOR is **normal**
RULE 3 : if (LABORF is **normal** and LABORL is **normal**) or (LABORF is **normal** and LABORL is **medium**) or (LABORF is **medium** and LABORL is **normal**) then LABOR is **normal**
RULE 4 : if LABORF is **normal** or LABORL is **normal** then LABOR is **medium**
RULE 5 : if (LABORF is **medium** and LABORL is **many**) or (LABORF is **many** and LABORL is **medium**) or (LABORF is **medium** and LABORL is **medium**) then LABOR is **medium**
RULE 6 : if LABORF is **medium** or LABORL is **medium** then LABOR is **many**
RULE 7 : if (LABORF is **many** and LABORL is **many**) or (LABORF is **excessive** and LABORL is **many**) or (LABORF is **many** and LABORL is **excessive**) then LABOR is **many**
RULE 8 : if LABORF is **many** or LABORL is **many** then LABOR is **excessive**
RULE 9 : if (LABORF is **excessive** and LABORL is **excessive**) or (LABORF is **many** and LABORL is **excessive**) or (LABORF is **excessive** and LABORL is **many**) then LABOR is **excessive**
RULE 10 : if LABORF is **excessive** or LABORL is **excessive** then LABOR is **excessive**

شکل ۳ – پایگاه قوانین روش‌های خبره طراحی‌شده

شکل ٤ – جزئیات توابع عضویت مربوط به خروجی‌های روش‌های خبره فازی طراحی‌شده

پنجمین روش خبره فازی برای تخمین و کمی سازی جامع روش آبیاری طراحی شده است. جزئیات این روش در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است. در این روش بر اساس میزان هزینه کارگری تخمین زده شده، کیفیت تخمین زده شده و اجرا پذیری عددی بین ۰ تا ۱۰۰ به‌عنوان میزان مطلوبیت روش آبیاری گزارش می‌شود که هر اندازه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده مطلوبیت بیشتر است.

برای بهینه‌سازی از چهار الگوریتم بهینه‌سازی فرا ابتکاری مبتنی بر رایانش تکاملی استفاده شده است که عبارت‌اند از الگوریتم ژنتیک (Eiben and Smith, 2015)، تکامل تفاضلی (Price, Storn, and Lampinen, 2005)، الگوریتم جستجوی الگو (Hooke and Jeeves, 1961)، الگوریتم CMASE (Hansen and Ostermeier, 2001) و پارامترهای تصمیم و ورودی مدل بهینه‌ساز در جدول ۱ ارائه شده است. از خروجی روش خبره فازی که در بخش قبل توضیح داده شد به‌عنوان مقدار شایستگی استفاده می‌شود. هم‌چنین برای تنظیم پارامترها نیز از الگوریتم MetaGA استفاده شده است تا بهینه‌ترین پارامترهای الگوریتم حاصل شود. به‌منظور ارزیابی صحت عملکرد مدل پیشنهادی مدل بر اساس داده‌های ۸ مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت که در جدول ۲ مشخصات مزارع ارائه شده است. پارامترهای هر یک از مزارع در منبع ارائه شده برای آن مزرعه مشخص شده است.

جدول ۱- پارامترهای مدل بهینه‌سازی

روش آبیاری	متغیرهای تصمیم (متغیرهای مدل)	ورودی‌های مدل (اولین آبیاری و آبیاری‌های بعدی)
جویچه‌ای	$Q_0, L_s, w, t_{max}, t_{mid}, y_{max}, Base, Q_{0L}$ and S_0	$L_t, W_f, t_T, q_T, z_{req}, k, a, f_0$ and n

جدول ۲ – مزارع مورداستفاده در آزمایش‌ها

مزرعه	منبع	مزرعه	منبع
۱	Example 6-1 (Walker and Skogerboe, 1987), Field 7 (Akbari et al., 2018) و Field 1 (Pazouki, 2021)	۵	Irrigation 11 (Saberi et al., 2020)و Field 13 (Pazouki, 2021)
۲	Field 9 (Akbari et al., 2018) و Field 10 (Pazouki, 2021)	۶	Irrigation 12 (Saberi et al., 2020) و Field 14 (Pazouki, 2021)
۳	Field 10 (Akbari et al., 2018) و Field 11 (Pazouki, 2021)	۷	Irrigation 13 (Saberi et al., 2020) و Field 15 (Pazouki, 2021)
۴	Irrigation 8 (Saberi et al., 2020) و Field 12 (Pazouki, 2021)	۸	Irrigation 14 (Saberi et al., 2020) و Field 16 (Pazouki, 2021)

نتایج و بحث

مدل پیشنهادی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون به‌صورت یکپارچه پیاده‌سازی شده است. در جدول ۳ طراحی‌های پیشنهادی حاصل از مدل برای ۸ مزرعه مورد آزمایش ارائه شده است. در این جدول هم پارامترهای روش آبیاری پیشنهادی و هم پارامترهای میانی حاصل از تحلیل روش آبیاری به کمک بخش شبیه‌ساز مدل پیشنهادی ارائه شده است. در جدول ۴ نتایج کیفی روش‌های آبیاری طراحی‌شده توسط مدل برای ۸ مزرعه ارائه شده است.

جدول ۳ – پارامترهای روش آبیاری طراحی‌شده به کمک مدل پیشنهادی

	الگوریتم	پارامترهای میانی مدل				پارامترهای مدل (مؤلفه‌های روش آبیاری طراحی‌شده)								
مزرعه	Alg.	N_s	t_T	τ_{req}	t_{CO}	s_0	Q_{0_L}	$Base$	Y_{max}	T_{mid}	T_{max}	w	L_s	Q_0
۱	DE	۸	۶۳	۱۲۵	۱۹۶	۰/۰۰۹۴	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۶۹	۰/۶	۱	۰/۱
۲	GA	۴	۱۰۵	۱۵۷	۲۲۸	۰/۰۰۴۸	۰/۰۲	۰/۵۵	۰/۷۹	۰/۸	۰/۹۲	۰/۸	۸	۰/۰۲
۳	DE	۲	۲۷	۱۸۹	۲۵۷	۰/۰۰۹۱	۰/۱۴	۰/۴۷	۰/۴۵	۰/۸	۰/۹۸	۰/۹	۳	۰/۱۷
۴	DE	۱	۲۴	۵۹۶	۷۰۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۷۲	۰/۵۲	۰/۹۲	۱/۳	۳	۰/۰۱
۵	DE	۴	۳۵	۳۸۷	۵۰۸	۰/۰۰۸۷	۰/۰۲	۰/۴۶	۰/۱۷	۰/۵۵	۰/۹۴	۰/۸	۱	۰/۰۳
۶	DE	۲	۱۹	۲۶۱	۳۱۵	۰/۰۰۲۸	۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۴	۰/۹۸	۱	۴	۰/۰۱
۷	GA	۵	۲۷	۲۳۸	۳۵۸	۰/۰۰۵۴	۰/۰۳	۰/۲۵	۰/۹۴	۰/۵۲	۰/۶۴	۰/۸	۱	۰/۰۳
۸	DE	۵	۲۷	۲۳۴	۳۴۸	۰/۰۰۴۴	۰/۰۳	۰/۳۵	۰/۵۴	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۹	۱	۰/۰۴

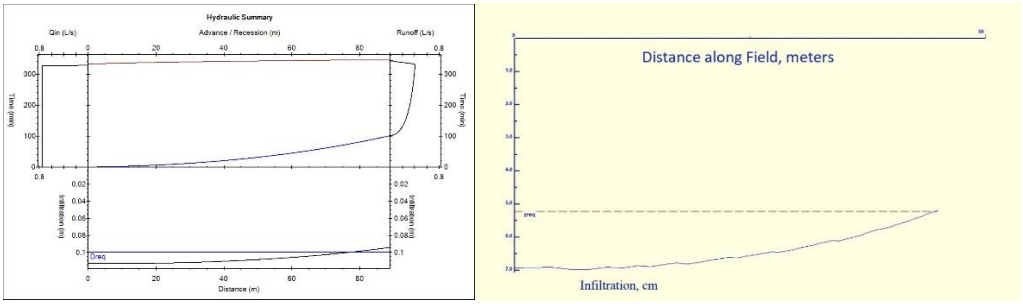
جدول ٤ – شاخصه‌های کیفی و نتایج روش خبره فازی برای طراحی‌های ارائه‌شده در جدول ۳

	نتایج روش خبره فازی				شاخصه‌های کیفی روش آبیاری طراحی‌شده برای اولین آبیاری و آبیاری‌های بعدی							
مزرعه	F.Single	F.LA	F.PR	F.PI	TWR later	DPR later	E_r later	E_a later	TWR first	DPR first	E_r first	E_a first
۱	۶۳	۵۲	۳۸	۶۵	۱۴	۱۴	۱۰۰	۷۲	۲۲	۱۷	۱۰۰	۶۱
۲	۶۳	۵۲	۳۶	۶۵	۱۷	۱۴	۱۰۰	۶۸	۱۴	۱۷	۱۰۰	۶۸
۳	۶۲	۵۲	۳۸	۶۲	۱۴	۲۲	۱۰۰	۶۴	۲۵	۱۲	۱۰۰	۶۳
۴	۵۹	۵۲	۳۹	۵۹	۲۶	۸	۱۰۰	۶۶	۲۹	۸	۱۰۰	۶۵
۵	۶۱	۵۲	۴۰	۶۱	۱۵	۱۸	۱۰۰	۶۷	۲۲	۱۱	۱۰۰	۶۷
۶	۶۳	۵۲	۳۹	۶۳	۱۳	۱۱	۱۰۰	۷۶	۱۵	۱۰	۱۰۰	۷۵
۷	۶۳	۳۷	۴۰	۶۳	۲۱	۱۸	۱۰۰	۶۲	۱۸	۱۹	۱۰۰	۶۳
۸	۶۲	۲۵	۴۰	۶۲	۱۱	۲۵	۱۰۰	۶۴	۲۳	۱۷	۱۰۰	۶۰

ازآنجاکه کلیه محاسبات و روال‌های عددی بخش شبیه‌ساز در این پژوهش از پایه به‌صورت مجدد پیاده‌سازی شده است به‌منظور اعتبارسنجی صحت عملکرد خروجی بخش شبیه‌ساز، نتایج حاصل از خروجی شبیه‌ساز مدل پیشنهادی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی به کمک دو نرم‌افزار معتبر تحلیل روش‌های آبیاری، مقایسه شده است. نتایج این مقایسه که در جدول ۵ ارائه شده است صحت عملکرد بخش شبیه‌ساز مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. هم‌چنین در شکل ۵ نمودارهای هیدرولیکی حاصل از شبیه‌سازی به کمک دو نرم‌افزار SIRMod و WinSRFR ارائه شده است.

جدول ۵ – مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار SirMod و WinSRFR با نتایج بخش شبیه‌سازی مدل پیشنهادی

	DU			TWR			DPR			E_r			E_a		
مزرعه	WR	SM	PO	WR	SM	PO	WR	SM	PO	WR	SM	PO	WR	SM	PO
۱	۹۲	۹۶	۹۳	۲۹	۲۲	۲۴	۷	۱۳	۱۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۵	۶۵	۶۵
۲	۹۱	۹۶	۹۰	۲۶	۱۰	۹	۴	۲۰	۲۱	۹۹	۱۰۰	۱۰۰	۷۰	۷۱	۷۱
۳	۹۶	۹۷	۹۰	۲۸	۱۶	۱۷	۶	۱۸	۱۷	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۶	۶۶	۶۶



(ب) (الف)

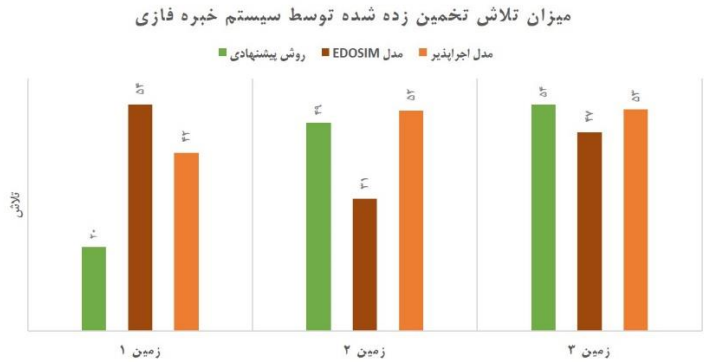
شکل ۵ – نمودارهای هیدرولیکی از نرم‌افزار WinSRFR، الف) نمودار هیدرولیکی میزان نفوذ آب بر اساس عمق ریشه (عمق مطلوب) بر اساس شبیه‌سازی با ابزار SIRMod ب) نمودار هیدرولیکی نمایش‌دهنده جبهه سطحی و زیرسطحی آب بر اساس شبیه‌سازی با نرم‌افزار WinSRFR

جدول ٦ – مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با نتایج مدل EDOSIM (Akbari et al., 2018) و مدل اجرا پذیر (Pazouki, 2021)، PO نتایج مدل پیشنهادی است، ES نتایج مدل EDOSIM است و PM نتایج مدل اجرا پذیر می‌باشد

E_a ↑			E_r ↑			DPR ↓			TWR ↓			DU ↑			
PO	ES	PM	PO	ES	PM	PO	ES	PM	PO	ES	PM	PO	ES	PM	مزرعه
۶۶/۹	۶۵/۲	۶۸/۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۷/۴	۷/۳	۱۱/۶	۵/۷	۲۷/۵	۲۰/۴	۸۶/۵	۹۳/۸	۹۳/۵	۱
۷۰/۹	۷۰/۱	۷۱/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰/۴	۱۳/۴	۱۹/۶	۸/۷	۱۶/۵	۸/۸	۸۹/۸	۸۴/۷	۹۰/۲	۲
۶۶/۲	۶۲/۵	۷۱/۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۷/۱	۱۶/۵	۱۲/۷	۱۶/۶	۲۱	۱۶/۲	۹۰/۴	۸۷/۴	۹۳/۴	۳

جدول ۷ – مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با مدل چند هدفه (Saberi et al., 2020) و مدل اجرا پذیر(Pazouki, 2021)، PO نتایج مدل پیشنهادی است، MO نتایج مدل چند هدفه است و PM نتایج مدل اجرا پذیر می‌باشد

E_a ↑			E_r ↑			DPR ↓			TWR ↓			DU ↑			
PO	MO	PM	PO	MO	PM	PO	MO	PM	PO	MO	PM	PO	MO	PM	مزرعه
۶۶/۹	۷۵/۲	۸۷/۴	۱۰۰	۸۵/۲	۱۰۰	۱۷	۰	۱۴/۶	۱۶/۱	۲۴/۸	۰	۹۰	-	۹۴/۱	۴
۷۱/۲	۸۲/۵	۷۴/۵	۱۰۰	۸۱/۲	۱۰۰	۱۵/۳	۰	۱۳/۳	۱۳/۵	۱۷/۵	۱۲/۴	۹۱/۸	-	۹۳/۳	۵
۷۱/۴	۹۱/۷	۸۲/۱	۱۰۰	۹۱/۴	۱۰۰	۱۶/۵	۰	۱۵/۸	۱۲/۱	۸/۳۰	۲/۱	۹۰/۹	-	۹۳/۳	۶
۶۸/۹	۸۸/۶	۸۳/۷	۱۰۰	۸۸/۷	۱۰۰	۱۵/۹	۰	۱۷/۲	۱۵/۲	۱۱/۴	۰	۹۰/۸	-	۹۲/۸	۷
۶۶/۲	۸۹/۴	۸۰/۳	۱۰۰	۹۰/۱	۱۰۰	۱۶/۹	۰	۱۵/۱	۱۶/۹	۱۰/۶	۴/۷	۸۹/۹	-	۹۳/۲	۸



شکل ٦ – نمودار مقایسه میزان هزینه کارگری موردنیاز برای اجرا طرح آبیاری ارائه‌شده توسط مدل پیشنهادی با دو مدل دیگر EDOSIM (Akbari et al., 2018) و مدل اجرا پذیر(Pazouki, 2021)

به‌منظور اعتبارسنجی صحت عملکرد مدل پیشنهادی، مقایسه نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با نتایج سه مدل دیگر در جدول ۶ و ۷ ارائه شده است. این نتایج نشان‌دهنده کیفیت نزدیک روش‌های آبیاری ارائه‌شده توسط مدل پیشنهادی با کیفیت سه مدل دیگر

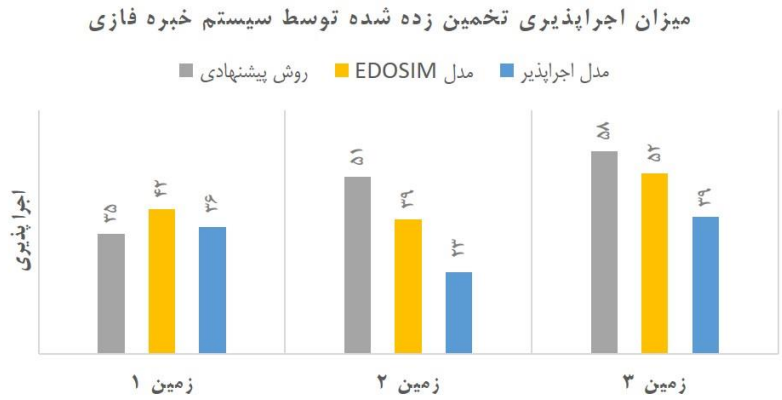
است؛ اما ازآنجاکه هدف اصلی مدل پیشنهادی لحاظ نمودن میزان اجرا پذیری و کاهش هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای روش آبیاری بوده است، در شکل ۶ و ۷ نمودارهای مقایسه‌ای میزان هزینه کارگری موردنیاز و اجرا پذیری حاصل از خروجی مدل پیشنهادی با خروجی دو مدل دیگر بررسی شده است که نتایج گویای اجرا پذیری بیشتر و هزینه کارگری کمتر مدل پیشنهادی در اکثر آزمایشات است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز برای طراحی روش آبیاری سطحی در آبیاری جویچه‌ای ارائه‌شده که به‌منظور افزایش اجرا پذیری و کاهش هزینه کارگری روش آبیاری طراحی‌شده از ۵ روش خبره فازی استفاده می‌شود. مدل‌های فازی بر اساس دانش کشاورزان باسابقه طراحی شده‌اند و شاخص‌های کمی برای میزان اجرا پذیری و هزینه کارگری ارائه می‌کنند. بخش بهینه‌ساز مدل نیز از ۴ الگوریتم فرا ابتکاری مبتنی بر رایانش تکاملی استفاده می‌کند. شاخص‌های کیفی حاصل از محاسبات عددی مبتنی بر مدل موازنه حجم در کنار شاخص‌های اجرا پذیری و هزینه کارگری در الگوریتم بهینه‌ساز جهت طراحی روش آبیاری مطلوب استفاده می‌شوند. نتایج آزمایشات انجام‌شده توسط مدل بر روی ۸ مزرعه آزمایشی و مقایسه نتایج با مدل‌های مشابه نشان‌دهنده صحت عملکرد مدل پیشنهادی در خصوص ارائه روش آبیاری با هزینه کارگری موردنیاز کمتر و اجرا پذیری بیشتر است. بر اساس نتایج حاصل‌شده به‌صورت متوسط روش پیشنهادی منجر به کاهش ۱۰ درصدی میزان هزینه کارگری و افزایش ۹ درصدی میزان اجرا پذیری شده است. از نظر کیفی نیز روش آبیاری طراحی‌شده با مدل پیشنهادی از کیفیت مطلوبی برخوردار است.

توصیف نمادهای استفاده شده در رابطه‌های شبیه‌ساز

نمادها	توصیف	واحد
Z_{req}	عمق خشکی خاک قبل از آبیاری	متر
τ_{req}	زمان مورد نیاز برای نفوذ آب	دقیقه
t_L	زمان مورد نیاز برای پیشروی آب	دقیقه
k	پارامترKastiakov-Lweis	-
a	پارامترKastiakov-Lweis	-
f_0	نرخ نفوذ اولیه	متر مکعب بر دقیقه
n	ضریب سختی Manning	-
A_0	مساحت سطح مقطع جریان ورودی آب	متر مربع
Q_0	نرخ ورودی آب (دبی) به هر ردیف در مزارع جویچه‌ای یا نرخ ورودی آب به ازاء هر متر عرض در مزارع نواری و کرتی	متر مکعب بر دقیقه
q_T	دبی ورودی به مزرعه زراعی(دبی کل)	متر مکعب بر دقیقه
t_T	زمان کل مورد نیاز برای آبیاری	دقیقه
t_r	زمان پسروی	دقیقه
t_{max}	پارامتر شکل هندسی سطح مقطع ردیف (عرض بالا)	متر
t_{mid}	پارامتر شکل هندسی سطح مقطع ردیف (عرض میانه)	متر
y_{max}	پارامتر شکل هندسی سطح مقطع ردیف، نواری و کرتی (حداکثر عمق)	متر
$Base$	پارامتر شکل هندسی سطح مقطع ردیف (عرض پایین)	متر
W_f	عرض مزرعه زراعی	متر
w	عرض ردیف‌ها در آبیاری جویچه‌ای	متر
N_f	تعداد ردیف‌ها	عدد
N_s	تعداد قطعات مزرعه در راستای عرض	عدد
L_t	طول مزرعه	متر
L_s	تعداد قطعات مزرعه در راستای طول مزرعه	عدد
Q_{max}	دبی غیر فرسایشی	متر مکعب بر دقیقه
V_{za}	حجم نفوذ کل آب در بخش‌های که مطلوب آبیاری شده‌اند	متر مکعب
V_{zi}	حجم نفوذ کل آب در بخش‌های که نامطلوب (ناکافی) آبیاری شده‌اند	متر مکعب



شکل ۷- نمودار مقایسه میزان اجرا پذیری موردنیاز برای اجرا طرح آبیاری ارائه‌شده توسط مدل پیشنهادی با دو مدل دیگر EDOSIM (Akbari et al., 2018) و مدل اجرا پذیر(Pazouki, 2021)

منابع

آزاد طلاتپه، ن.، رضاوردی نژاد، و.، بشارت، س.، بهمنش، ج. و صدرالدینی، س. ع. ۱۳۹۶. بهینه‌سازی سیستم آبیاری موجی بر اساس متغیرهای آبیاری و هندسی جویچه با مدل SIRMOD. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۱): ۱۶۶-۱۵۱.

بیک زاده، ا.، ضیایی، ع. ن.، داوری، ک. و انصاری، ح. ۱۳۹۳. بهینه‌سازی میزان جریان ورودی و زمان آبیاری در آبیاری جویچه‌ای با استفاده ازمدل هیدرودینامیک کامل. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۸(۲): ۳۸۵-۳۷۷.

رضایی راد، ه.، ابراهیمیان، ح. و لیاقت، ع. م. ۱۴۰۰. تخمین معکوس ضریب زبری مانینگ با استفاده از مدل WinSRFR و بررسی تغییرات آن در رخدادهای مختلف آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵(۳): ۶۱۰-۵۹۸.

عباسی، ف.، ۱۳۹۱. اصول جریان در آبیاری سطحی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۳۲ صفحه

Akbari, M., Gheysari, M., Mostafazadeh-Fard, B. and Shayannejad, M. 2018. Surface irrigation simulation-optimization model based on meta-heuristic algorithms. Agricultural Water Management. 201: 46-57.

Al-Ghafri, A. 2005. On-Farm labor allocation and water use in smallholder irrigation systems: Lessons from Africa and Arabia. WIT Transactions on Ecology and the Environment. 80: 557-569.

Amosson, S., Almas, L., Girase, J., Kenny, N., Guerrero, B., Vimlesh, K. and Marek, T. 2011. Economics of Irrigation Systems. Texas A&M AgriLife Extension Service, B-6113.

Bautista, E., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S. and Niblack, M. 2009. Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR—Example application. Agricultural Water Management. 96(7): 1162-1169.

Drury, B., Valverde-Rebaza, J., Moura, M.-F. and de Andrade Lopes, A. 2017. A survey of the applications of Bayesian networks in agriculture. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 65: 29-42.

Eiben, A. E., and Smith, J. E. 2015. Introduction to Evolutionary Computing: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Elliott, R., R. Walker, W. and V. Skogerboe, G. 1983. Furrow Irrigation Advance Rates: A Dimensionless Approach. Transactions of the ASAE. 26(6): 1722-1725.

Garcia, A. M. 2014. SURDEV. URL: https://www.wur.nl/en/product/SURDEV.htm.

Hansen, N. and Ostermeier, A. 2001. Completely Derandomized Self-Adaptation in Evolution Strategies. Evolutionary Computation. 9(2): 159-195.

Hooke, R. and Jeeves, T. A. 1961. "Direct Search" Solution of Numerical and Statistical Problems. Journal of the ACM. 8(2): 212-229.

Hoseini, Y. 2019. Use fuzzy interface systems to optimize land suitability evaluation for surface and trickle irrigation. Information Processing in Agriculture. 6(1): 11-19.

optimization model with a multi-objective framework for automatic design of a furrow irrigation system. Irrigation and Drainage 69(4): 603-617.

Salahou, M. K., Jiao, X. and Lü, H. 2018. Border irrigation performance with distance-based cut-off. Agricultural Water Management. 201: 27-37.

Saruwatari, N. and Yomota, A. 1995. Forecasting system of irrigation water on paddy field by fuzzy theory. Agricultural Water Management. 28(2): 163-178.

Walker, W. R. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems: FAO FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome.

Walker, W. R. 2003. SIRMOD III Surface Irrigation Simulation, Evaluation and Design. In: Department of Biological and Irrigation Engineering. Utah State University, Logan, UT, USA.

Walker, W. R. and Skogerboe, G. V. 1987. Surface irrigation, Theory and practice. USA, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Kambalimath, S. and Deka, P. C. 2020. A basic review of fuzzy logic applications in hydrology and water resources. Applied Water Science. 10(8): 191.

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.

Pazouki, E. 2021. A practical surface irrigation system design based on volume balance model and multi-objective evolutionary optimization algorithms. Agricultural Water Management. 248: 106755.

Price, K., Storn, R. M. and Lampinen, J. A. 2005. Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Quanxing, Z., Chwan-Hwa, W., and Tilt, K. 1996. Application of fuzzy logic in an irrigation control system. Paper presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT'96.(

Saberi, E., Siuki, A. K., Pourreza-Bilondi, M. and Shahidi, A. 2020. Development of a simulation–

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 15, Dec.-Jan. 2021, p. 1226-1237

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۵، آذر - دی ۱۴۰۰، ص. ۱۲۳۷-۱۲۲۶

Design of a Furrow Irrigation System With the Aim of Increasing the Practicality and Decreasing the Cost Labor as a Single Objective Model

E. Pazouki[1]

Recived: Jun. 08, 2021 Accepted: Aug. 04, 2021

Abstract

Increasing productivity in the use of agricultural resources has always been considered. Water is one of the most central and effective resources needed in agriculture. The furrow surface irrigation system is one of the most widely used irrigation systems. Irrigation systems are usually designed to increase quality, which can also be quantified. In addition to quality, practicality and the amount of required labor for irrigation are two other important factors that if not considered, the potential quality considered in the irrigation plan will not be realized. But in most irrigation system design models, only quality has been considered. In this research, a simulation and optimization model is presented for designing a furrow irrigation system with the aim of increasing practicality, reducing labor along with increasing quality. This model uses a fuzzy expert system based on the knowledge of experienced farmers to quantify the amount of labor and the practicality of the irrigation system. Experiments have been performed based on data from several different farms that show the quality of the proposed model. Also, by comparing the results, it was found that the proposed method, on average, has led to a 10% reduction in the labor and a 9% increase in the practicality.

Keyword: Furrow Irrigation System, Labor, Practicality of Irrigation System

1 Asistant Profesor, Shahid Rajaee Teacher Training University, School of Computer Engineering, Tehran, Iran (Email: ehsan.pazouki@sru.ac.ir)