

مقاله علمی-پژوهشی

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

احسان پازوکی^۱

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

چکیده

افزایش بهره‌وری در به‌کارگیری منابع کشاورزی همواره مورد توجه بوده است. آب یکی از محوری‌ترین و مؤثرترین منابع مورد نیاز در کشاورزی است. روش آبیاری سطحی به روش جویچه‌ای یکی از پر استفاده‌ترین روش‌های آبیاری است. معمولاً روش‌های آبیاری با هدف افزایش کیفیت که به صورت کمی نیز قابل اندازه‌گیری است، طراحی می‌شوند. علاوه بر کیفیت، اجرا پذیری و هزینه کارگری مورد نیاز 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 مورد توجه 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 با سابقه آماده شده برای کمی‌سازی میزان هزینه کارگری و اجرا پذیری طرح آبیاری استفاده می‌کند. آزمایش‌هایی بر اساس داده‌های چندین مزرعه مختلف انجام شد که کیفیت مدل پیشنهادی را تأیید نمود. هم‌چنین با مقایسه نتایج مشخص شد روش پیشنهادی به صورت 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

سنتی آبیاری می‌شود. از آنجاکه نوع روش آبیاری در بهره‌وری استفاده از آب بسیار مؤثر است و هم‌چنین عملکرد روش آبیاری تأثیرات محیط زیستی قابل توجهی نیز دارد، لذا طراحی روش آبیاری نیازمند توجه ویژه است. البته طی سال‌های گذشته پژوهش‌های گسترده‌ای در این خصوص انجام گرفته 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 ارائه شده اجرا پذیری روش آبیاری متناسب محدودیت‌ها و شرایط مزرعه در نظر گرفته نشده است. در مدل‌های ارائه شده تمرکز اصلی بر کیفیت عملکرد روش آبیاری است، در حالی که اگر روش آبیاری پیشنهاد شده با ملاحظات، محدودیت‌ها و مهارت‌های کشاورزان و نیروکار در اختیار آن‌ها هماهنگ نباشد، کیفیت اسمی حاصل از مدل‌های محاسباتی در عمل قابل دستیابی 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).

اکثر طراحی‌های مهندسی که در حوزه کشاورزی به صورت گسترده استفاده می‌شود، همچنان بر پایه روش‌های سنتی است (Walker, 2003). از آنجاکه 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 قابل قبول و مطلوب نیست. یکی از طراحی‌هایی که کشاورزان همواره با آن مواجه هستند، طراحی روش آبیاری برای آبیاری مزرعه است (Walker and Skogerboe, 1987). با وجود تنوع قابل توجه و پیشرفت‌های انجام شده در خصوص تکنولوژی‌های آبیاری اما همچنان درصد قابل توجهی از مزارع کشاورزی به صورت آبیاری سطحی و با روش

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

۱۴۰۰). در بسیاری از کارهای پژوهشی نرم‌افزارها و شبیه‌سازهای طراحی شده به عنوان 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 به منظور 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 به صورت مستقیم موردتوجه نبوده است. تخمین میزان هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای روش آبیاری در چندین پژوهش موردتوجه بوده است. آмосون

در خصوص طراحی روش آبیاری سطحی و ارزیابی عملکرد آن پژوهش‌ها و تئوری‌های جامعی وجود دارد. تحلیل‌های جامع و کاربردی 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 ملاحظات‌هایی 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 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،

مدل پیشنهادی و نحوه به‌کارگیری روش خبره فازی در کنار الگوریتم‌های بهینه‌ساز فرا ابتکاری به‌منظور طراحی روش آبیاری مطلوب ارائه می‌شود.

مواد و روش‌ها

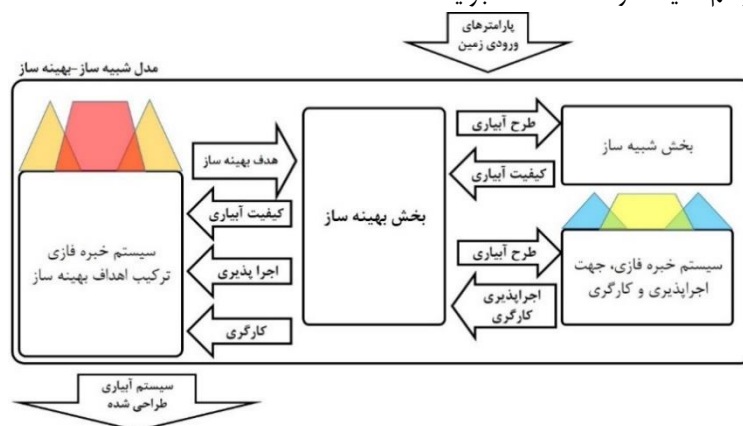
به‌منظور طراحی روش آبیاری مطلوب در این پژوهش مدل شبیه‌سازی - بهینه‌سازی معرفی می‌شود که بر اساس روابط و روال‌های محاسباتی عددی مبتنی بر مدل موازنه حجم از پارامترهای روش طراحی شاخص‌های کیفی آن را محاسبه می‌کند. سپس، به کمک چند روش خبره فازی طراحی شده مبتنی بر دانش افراد خبره میزان اجرا پذیری و هزینه کارگری 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 طراحی شده بر اساس مدل موازنه حجم کیفیت عملکرد روش آبیاری طراحی شده محاسبه می‌شود. کلیه روابط و روال‌های عددی استفاده شده 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-لوتیس به شکل رابطه (۱) مبنای محاسبات قرار می‌گیرد.

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

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



شکل ۱ - معماری مدل پیشنهادی

در این رابطه پارامترهای مهم روش آبیاری شامل سطح مقطع جویچه‌ها، پارامترهای اولیه ضریب نفوذ آب و پارامترهای کوستیفاک-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 محاسبه شده 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.

در این رابطه پارامترهای مهم روش آبیاری شامل سطح مقطع جویچه‌ها، پارامترهای اولیه ضریب نفوذ آب و پارامترهای کوستیفاک-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 محاسبه شده 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.

$$E_a = \frac{Z_{req}L}{Q_0 t_{CO}} \quad (2)$$

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

$$E_r = \frac{Z_{req}x_d + V_{zi}}{Z_{req}L} \quad (3)$$

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

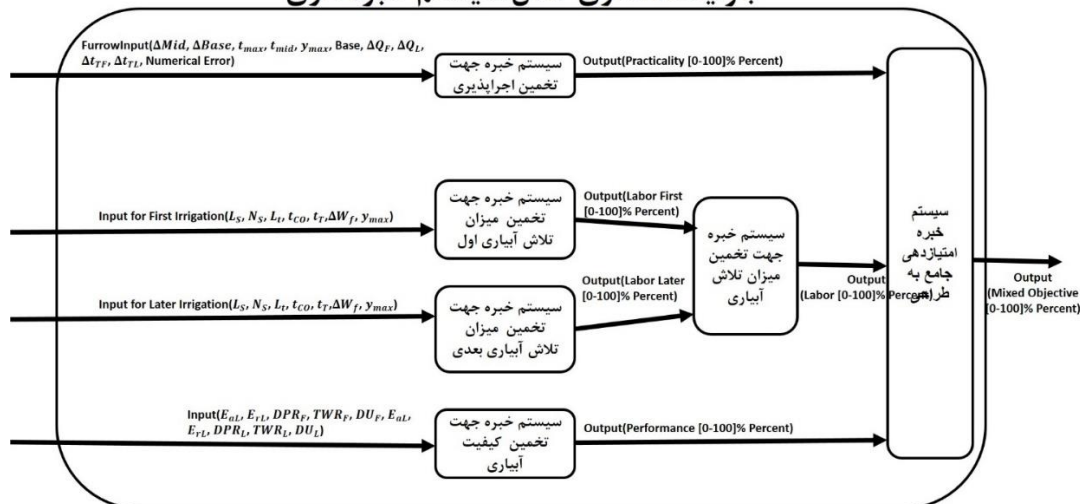
$$DU = \frac{4.0V_{lq}}{V_{rz} + V_{dp}} \quad (4)$$

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

$$DPR = \frac{V_z - Z_{req}L}{Q_0 t_{CO}} \quad (5)$$

سایر روابط نیز در (Elliott et al., 1983; Walker, 1989,)

جزئیات معماری مدل سیستم خبره فازی



شکل ۲ - معماری تفصیلی روش خبره فازی طراحی شده

بین ۰ تا ۱۰۰ ارائه می‌کند که بیان‌کننده توأم میزان کیفیت، اجرا پذیری و هزینه کارگری موردنیاز روش آبیاری طراحی شده است. در

بر اساس معماری ارائه شده مجموعه مدل‌های فازی طراحی شده دریافت پارامترهای روش آبیاری به‌عنوان ورودی در خروجی عددی

هزینه کارگری موردنیاز برای اجرای روش آبیاری طراحی شده است. جزئیات این روش در شکل ۳ و ۴ 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 کمی‌سازی 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.

ادامه جزئیات طراحی ۵ روش‌های خبره فازی ارائه شده‌اند.

اولین روش خبره فازی برای تخمین و کمی‌سازی 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 کمی‌سازی میزان کیفیت روش آبیاری طراحی شده است. جزئیات این روش در شکل ۳ و ۴ 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 کمی‌سازی میزان

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 fullPract
- 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 semiPract

پایگاه قوانین سیستم خبره تخمین تلاش آبیاری توأم 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

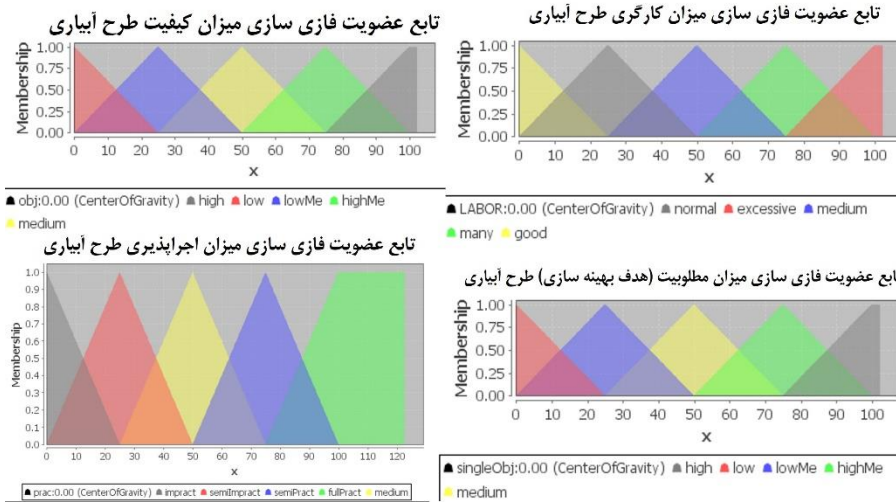
پایگاه قوانین سیستم خبره تخمین کیفیت

- RULE 1 : if Eaf is low or Eal is low or Erf is low or Erf is high then obj is low
- RULE 2 : if DPRI is high or DPRI is high or TWRI is high or TWRI is high then obj is low
- RULE 3 : if Eaf is medium and Eal is medium and Erf is high and Erf is high then obj is medium
- RULE 4 : if Eaf is high and Eal is low and Erf is high and Erf is high then obj is medium
- RULE 5 : if Eaf is low and Eal is high and Erf is high and Erf is high then obj is medium
- RULE 6 : if Eaf is medium and Eal is medium and DPRI is not high and DPRI is not high and TWRI is not high and TWRI is not high then obj is medium
- RULE 7 : if (TWRI is low and TWRI is medium) or (TWRI is medium and TWRI is low) or (DPRI is low and DPRI is medium) or (DPRI is medium and DPRI is low) then obj is medium
- RULE 8 : if Eaf is medium and Eal is medium and Erf is medium and Erf is medium and DUFI is medium and DUFI is medium and DPRI is low and DPRI is low and TWRI is low and TWRI is low then obj is medium
- RULE 9 : if Eaf is high and Eal is high and Erf is high and Erf is high and (DUFI is low or DUFI is low) and DPRI is low and DPRI is low and TWRI is low and TWRI is low then obj is medium
- RULE 10 : if Eaf is high and Eal is medium and Erf is high and Erf is high then obj is highMe
- RULE 11 : if Eaf is medium and Eal is high and Erf is high and Erf is high then obj is highMe
- RULE 12 : if Eaf is low and Eal is high and (DPRI is low and DPRI is low) then obj is highMe
- RULE 13 : if Eaf is high and DPRI is medium and DPRI is medium and TWRI is medium then obj is highMe
- RULE 14 : if Eaf is high and DPRI is medium and DPRI is medium and TWRI is medium then obj is highMe
- RULE 15 : if (Eaf is medium and Eal is medium) and (DPRI is low and DPRI is low) and (TWRI is low and TWRI is low) then obj is highMe
- RULE 16 : if Eaf is high and Eal is high and Erf is high and Erf is high and DUFI is high and DUFI is high and DPRI is low and DPRI is low and TWRI is low and TWRI is low then obj is high
- RULE 17 : if Eaf is high and Eal is high and Erf is high and Erf is high and (DUFI is medium or DUFI is medium) and DPRI is low and DPRI is low and TWRI is low and TWRI 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 (DPRI is low and DPRI is low and TWRI is low and TWRI is low) then obj is high
- RULE 19 : if Eaf is high and Eal is high and Erf is medium and Erf is medium and DPRI is medium and DPRI is medium and TWRI is medium and TWRI is medium then obj is high

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 semiPract and (OBJ is lowMe or OBJ is low)) then singleObj is lowMe
- RULE 7 : if (LABOR is excessive and PRACT is semiPract and OBJ is lowMe) then singleObj is lowMe
- RULE 8 : if (LABOR is excessive and PRACT is semiPract and OBJ is highMe) then singleObj is lowMe
- RULE 9 : if (LABOR is excessive and PRACT is semiPract and OBJ is medium) then singleObj is lowMe
- RULE 10 : if OBJ is lowMe or PRACT is semiPract 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

شکل ۳ - پایگاه قوانین روش‌های خبره طراحی شده



شکل ۴ - جزئیات توابع عضویت مربوط به خروجی‌های روش‌های خبره فازی طراحی شده

Hansen and Ostermeier,) CMASE (Jeeves, 1961)، الگوریتم (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 به عنوان مقدار شایستگی استفاده می‌شود. هم‌چنین برای تنظیم پارامترها نیز از الگوریتم MetaGA استفاده شده است تا بهینه‌ترین پارامترهای الگوریتم حاصل شود. به منظور 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.

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 به عنوان 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 Hooke and Lampinen, 2005)، الگوریتم جستجوی الگو (Lampinen, 2005) و Hooke and

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 مورد استفاده در آزمایش‌ها

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

نتایج و بحث

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 طراحی شده توسط مدل برای ۸ مزرعه ارائه شده است.

مدل پیشنهادی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون به صورت یکپارچه پیاده‌سازی شده است. در جدول ۳ طراحی‌های پیشنهادی حاصل از مدل برای ۸ مزرعه مورد آزمایش ارائه شده است. در این

جدول ۳ - پارامترهای روش آبیاری طراحی شده به کمک مدل پیشنهادی

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

جدول ۴ - شاخصه‌های کیفی و نتایج روش خبره فازی برای طراحی‌های ارائه شده در جدول ۳

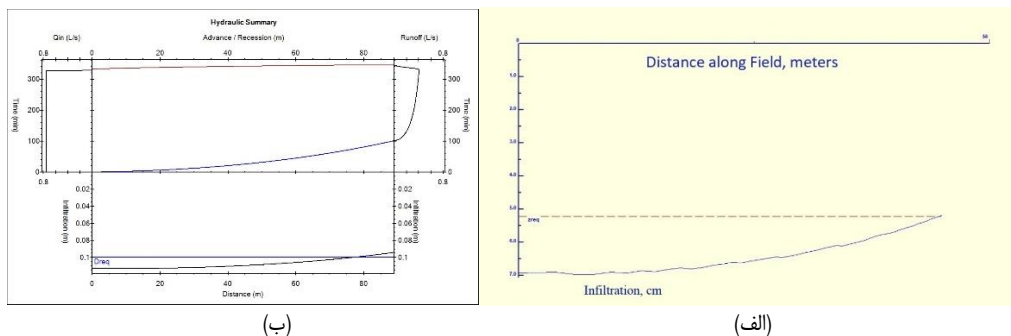
شاخصه‌های کیفی روش آبیاری طراحی شده برای اولین آبیاری و آبیاری‌های بعدی								نتایج روش خبره فازی				مزرعه
E_a first	E_r first	DPR first	TWR first	E_a later	E_r later	DPR later	TWR later	F.PI	F.PR	F.LA	F.Single	
۶۱	۱۰۰	۱۷	۲۲	۷۲	۱۰۰	۱۴	۱۴	۶۵	۳۸	۵۲	۶۳	۱
۶۸	۱۰۰	۱۷	۱۴	۶۸	۱۰۰	۱۴	۱۷	۶۵	۳۶	۵۲	۶۳	۲
۶۳	۱۰۰	۱۲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

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 WinSRFR و SIRMod ارائه شده است.

از آنجاکه کلیه محاسبات و روال‌های عددی بخش شبیه‌ساز در این پژوهش از پایه به صورت مجدد پیاده‌سازی شده است به منظور 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.

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

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



شکل ۵ - نمودارهای هیدرولیکی از نرم افزار 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

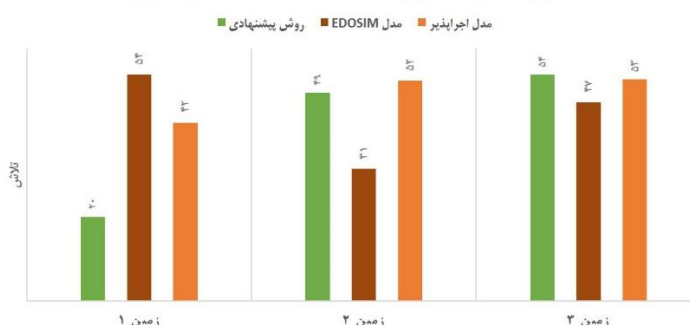
جدول ۶ - مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با نتایج مدل EDOSIM (Akbari et al., 2018) و مدل اجرا پذیر (Pazouki, 2021) PO نتایج مدل پیشنهادی است، ES نتایج مدل EDOSIM است و PM نتایج مدل اجرا پذیر می‌باشد

مزرعه	$E_a \uparrow$			$E_r \uparrow$			DPR \downarrow			TWR \downarrow			DU \uparrow		
	PO	ES	PM	PO	ES	PM	PO	ES	PM	PO	ES	PM	PO	ES	PM
۱	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
۲	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
۳	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

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

مزرعه	$E_a \uparrow$			$E_r \uparrow$			DPR \downarrow			TWR \downarrow			DU \uparrow		
	PO	MO	PM	PO	MO	PM	PO	MO	PM	PO	MO	PM	PO	MO	PM
۴	۶۶/۹	۷۵/۲	۸۷/۴	۱۰۰	۸۵/۲	۱۰۰	۱۷	۰	۱۴/۶	۱۶/۱	۲۴/۸	۰	۹۰	-	۹۴/۱
۵	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
۶	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
۷	۶۸/۹	۸۸/۶	۸۳/۷	۱۰۰	۸۸/۷	۱۰۰	۱۵/۹	۰	۱۷/۲	۱۵/۲	۱۱/۴	۰	۹۰/۸	-	۹۲/۸
۸	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

میزان تلاش تخمین زده شده توسط سیستم خبره فازی



شکل ۶ - نمودار مقایسه میزان هزینه کارگری مورد نیاز برای اجرا طرح آبیاری ارائه شده توسط مدل پیشنهادی با دو مدل دیگر EDOSIM (Akbari et al., 2018) و مدل اجرا پذیر (Pazouki, 2021)

ارائه شده است. این نتایج نشان‌دهنده کیفیت نزدیک روش‌های آبیاری ارائه شده توسط مدل پیشنهادی با کیفیت سه مدل دیگر

به منظور اعتبارسنجی صحت عملکرد مدل پیشنهادی، مقایسه نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با نتایج سه مدل دیگر در جدول ۶ و

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 انجام شده 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 حاصل شده به صورت 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 طراحی شده با مدل پیشنهادی از کیفیت مطلوبی برخوردار است.

است؛ اما از آنجا که 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.

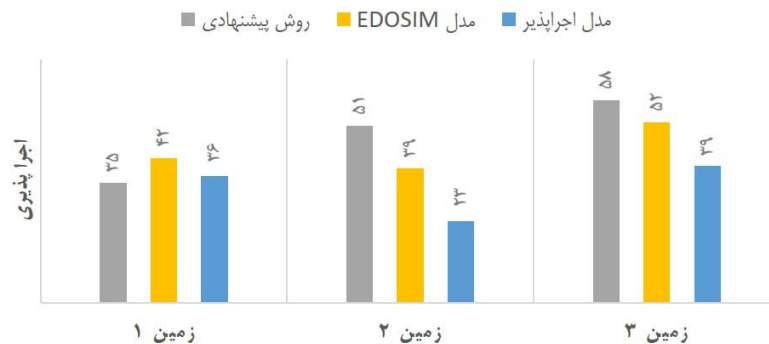
نتیجه گیری

در این پژوهش مدل شبیه‌ساز-بهینه‌ساز برای طراحی روش آبیاری سطحی در آبیاری جویچه‌ای ارائه شده که به منظور افزایش اجرا پذیری و کاهش هزینه کارگری روش آبیاری طراحی شده از ۵ روش خیره فازی استفاده می‌شود. مدل‌های فازی بر اساس دانش کشاورزان با سابقه طراحی شده‌اند و شاخص‌های کمی برای میزان

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	پارامتر Kostiakov-Lewis	-
a	پارامتر Kostiakov-Lewis	-
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
γ_{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

میزان اجراپذیری تخمین زده شده توسط سیستم خبره فازی



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

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.

منابع

آزاد طلا تپه، 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*. ۱۷(۱): ۱۶۶-۱۵۱.

بیگ زاده، ا.، ضیایی، ع. ن.، داوری، ک. و انصاری، ح. ۱۳۹۳. بهینه‌سازی میزان جریان ورودی و زمان آبیاری در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل 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

- 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-

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

E. Pazouki¹

Received: 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 Assistant Professor, Shahid Rajaee Teacher Training University, School of Computer Engineering, Tehran, Iran
(Email: ehsan.pazouki@sru.ac.ir)