

مقاله علمی - پژوهشی

## ارزیابی کارایی دو مدل WinSRFR و SIRMOD در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای با استفاده از روش اینرسی صفر و مقایسه آن با داده‌های مزرعه‌ای

چنور عبدی<sup>۱</sup>، ستار زندسلیمی<sup>۲</sup> و امید بهمنی<sup>۳\*</sup>

### چکیده

با توجه به اینکه سامانه آبیاری سطحی از پرکاربردترین روش آبیاری در کشور است، افزایش کارایی این سامانه آبیاری از سیاست‌های کلان کشور محسوب می‌شود. در این پژوهش با انجام شبیه‌سازی جریان آبیاری سطحی با استفاده از روش حل معادلات سنت ونانت (روش اینرسی صفر) در دو نرم‌افزار SIRMOD و WinSRFR و مقایسه آن با مشاهدات مزرعه‌ای در مرکز تحقیقات نیشکر اهواز، کارایی دو نرم‌افزار در شبیه‌سازی جریان آبیاری سطحی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس شاخص‌های آماری مورد بررسی، مشاهده گردید که هر دو نرم‌افزار توانایی خوبی در شبیه‌سازی جریان در آبیاری جویچه‌ای دارند. هر دو مدل زمان پیشروی و رواناب را بیشتر و مقدار نفوذ را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده، محاسبه نمودند. در بررسی شاخص‌های عملکرد آبیاری جویچه‌ای نیز مشخص گردید که شبیه‌سازی مدل WinSRFR با مقدار راندمان کاربرد بیشتر و رواناب کمتر، به داده‌های اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است. بر اساس نتایج موجود، عملکرد نرم‌افزار WinSRFR با اختلاف کمی (زمان پیشروی ۴ درصد، حجم نفوذ ۳ درصد و رواناب ۶ درصد)، بهتر از نرم‌افزار SIRMOD است. همچنین مشاهده گردید که بر اساس آزمایش‌های صحرایی، خطاهای نسبی حجم آب ورودی و نفوذ توسط نرم‌افزارهای WinSRFR به ترتیب ۱/۳، ۲/۷ و SIRMOD، به ترتیب ۴/۹ و ۴/۵ درصد محاسبه شد. در تخمین رواناب بهترین و ضعیف‌ترین عملکرد به میزان ۳۰/۲ و ۳۲/۵ مترمکعب به ترتیب در نرم‌افزارهای WinSRFR و SIRMOD مشاهده گردید.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری سطحی، ارزیابی عملکرد، سنت ونانت، مدل‌های آبیاری

### مقدمه

تحت‌فشار، مهم‌ترین عامل در پایین بودن بهره‌وری مصرف آب این روش آبیاری است (حیدری و حقایقی مقدم، ۱۳۸۰). از طرفی هزینه تجهیزات بالا و نیاز به انرژی زیاد سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار پژوهشگران را بر آن داشته است تا با انجام پژوهش‌های کاربردی و به‌کارگیری اصول مهندسی آبیاری، راندمان آبیاری سطحی را تا حد قابل‌ملاحظه‌ای افزایش دهند (تقی زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

ضعف در طراحی، مدیریت آبیاری و اجرا از عوامل مؤثر در کاهش راندمان آبیاری سطحی است (Kay, 1990). بهبود طراحی و اعمال مدیریت مناسب، کارایی سامانه آبیاری سطحی را ارتقاء داده و بهره‌وری مصرف آب را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر میزان آلودگی آگروشیمیایی محیط را کاهش می‌یابد (Ebrahimian, 2014, Lalehzari et al. 2015, Mazarei et )

آبیاری سطحی یک از قدیمی‌ترین روش‌های آبیاری اراضی کشاورزی است. بیش از ۹۰ درصد سامانه‌های آبیاری به کار گرفته شده در کشورهای جهان، روش آبیاری سطحی یا فاریاب است (عباسی، ۱۳۸۷)؛ اما کم بودن راندمان آبیاری سطحی (حدود ۳۰ درصد) در مقایسه با روش‌های آبیاری

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (\*نویسنده مسئول: [omid.bahmani@basu.ac.ir](mailto:omid.bahmani@basu.ac.ir))

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲

شبیه‌سازی آبیاری نواری متناوب (AFI<sup>۲</sup>) و معمولی (CFI<sup>۳</sup>) را مورد بررسی قرار دادند و نتایج را با داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه نمودند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که شبیه‌سازی جریان در هر دو روش آبیاری با دقت بسیار بالایی انجام شده است (Wu et al., 2017). احمدآبادی و همکاران جهت بهبود کارایی سامانه آبیاری نواری در مزرعه چغندرقد دشت مغان استان اردبیل، سناریوهای مختلفی را با استفاده از مدل SIRMOD مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با اعمال سناریوهای مختلف، می‌توان تلفات عمقی آب آبیاری را کاهش داد و با اعمال مناسب‌ترین دبی جریان ورودی، به راندمان آبیاری بالا دست‌یافت (Ahmadabadi et al., 2020).

یکی دیگر از مدل‌های شبیه‌سازی آبیاری سطحی، مدل WinSRFR است. این مدل در سال ۲۰۰۶ با همکاری مرکز تحقیقات کشاورزی مناطق خشک (ARS<sup>۴</sup>) و بخش تحقیقات کشاورزی امریکا (USDA<sup>۵</sup>) برای تحلیل، شبیه‌سازی و ارزیابی روش‌های مختلف آبیاری سطحی توسعه یافت و به‌عنوان یک نرم‌افزار پایه در تحقیقات هیدرولیک آبیاری مورد استفاده قرار گرفت. باتیستا و همکاران قابلیت مدل WinSRFR در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی پارامترهای مدیریتی در آبیاری سطحی را تأیید کردند (Bautista et al., 2009a).

اسماعیل و همکاران کارایی سامانه آبیاری نواری در مصر را با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که افزایش طول فاروها کارایی سامانه آبیاری را کاهش می‌دهد و ترکیب بهینه دبی و زمان قطع جریان، راندمان کاربرد را افزایش و تلفات عمقی را کاهش می‌دهد (Ismail et al., 2021). مکاری قهرودی و همکاران (۱۳۹۲) به کمک نرم‌افزار WinSRFR مراحل مختلف آبیاری جویچه‌ای را ارزیابی و شبیه‌سازی نمودند. این محققین بیشترین میانگین خطای مدل را در برآورد حجم رواناب سطحی و کمترین آن را در برآورد حجم آب ورودی به دست آوردند. مزارعی و همکاران نرم‌افزار

(al., 2021). برای بهبود طراحی سامانه‌های آبیاری سطحی باید متغیرهای زیادی موردبررسی قرار گیرد که مهم‌ترین آن‌ها شدت جریان ورودی و زمان قطع جریان آب است

با توجه به زیاد بودن پارامترهای مؤثر بر طراحی سامانه‌های آبیاری سطحی و نیز تغییرات زمانی و مکانی آن، مدیریت آبیاری سطحی برای رسیدن به بازدهی بالا و یکنواختی توزیع مناسب بسیار پیچیده است و نیازمند استفاده از ابزارهایی برای رسیدن به این اهداف است (اسفندیاری، ۱۳۸۷). یکی از این روش‌ها، استفاده از مدل‌های آبیاری، جهت شبیه‌سازی پدیده جریان آب با هدف اعمال پارامترهای مناسب جهت ارتقاء راندمان آبیاری و یکنواختی توزیع آب است (Smith and Uddin, 2020). این نرم‌افزارها با شبیه‌سازی آبیاری سطحی، پدیده جریان آب و راندمان‌های آبیاری موجود (راندمان کاربرد، توزیع و ضریب یکنواختی) را با استفاده از داده‌های ورودی، بررسی نموده و مدل‌های آبیاری سطحی را ارزیابی می‌نمایند. از مزایای دیگر استفاده از مدل‌های آبیاری، سرعت بالا، هزینه پایین، بررسی پارامترهای مختلف مؤثر در طراحی و ترکیب این پارامترها بدون استفاده از آزمایش‌ها پرهزینه است (Smith et al., 2010; Ebrahimian and Liaghat, 2013; Abasi et al., 2003). مدل‌های زیادی در رابطه با آبیاری سطحی تاکنون توسعه‌یافته است که از آن جمله می‌توان به مدل WinSRFR و SIRMOD اشاره کرد. این مدل‌ها بر اساس معادلات هیدرولیکی حاکم بر جریان آب، (معادله سنت ونانت) طراحی شده‌اند (هوشمند و همکاران، ۱۳۹۸). مدل آبیاری SIRMOD، در سال ۱۳۹۸ توسط واکر<sup>۱</sup> در دانشگاه ایالتی یوتای امریکا نوشته شده است. این مدل کاربرد زیادی در شبیه‌سازی آبیاری سطحی دارد و طبق بررسی‌های انجام شده بیشترین حساسیت را به جریان آب ورودی و ضرایب معادله نفوذ دارد (Esfandiari et al., 2000). مدل SIRMOD به‌طور موفقیت‌آمیزی می‌تواند سامانه‌های مختلف آبیاری سطحی را شبیه‌سازی نماید (Ebrahimian and Liaghat, 2013). وو و همکاران دقت مدل SIRMOD در

<sup>2</sup> Alternate Furrow Irrigation

<sup>3</sup> Conventional Furrow Irrigation

<sup>4</sup> Agricultural Research Service

<sup>5</sup> US Department of Agriculture

<sup>1</sup> Walker

نظارت دقیق و تعیین پارامترهای ورودی مدل برای دسترسی به سطح مناسبی از عدم قطعیت WinSRFR تأکید می‌کند؛ بنابراین در نظر گرفتن و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت پارامترهای ورودی مدل‌های WinSRFR بسیار مهم است و می‌تواند مرجعی برای به دست آوردن شبیه‌سازی‌های واقعی و پایدار آبیاری جویچه‌ای باشد (Seifi et al., 2023).

همان‌طور که مشاهده گردید سوابق تحقیقات انجام‌گرفته کارایی دو مدل SIRMOLD و WinSRFR در برآورد و شبیه‌سازی روش‌های مختلف آبیاری را نشان داده است؛ اما مقایسه این دو مدل در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای و مقایسه نتایج آن‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده، کمتر صورت گرفته است؛ بنابراین تحقیق حاضر باهدف ارزیابی نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان آبیاری سطحی با استفاده روش حل معادلات سنت و نانت (روش اینرسی صفر) و مقایسه آن با مشاهدات مزرعه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SIRMOLD و WinSRFR و مقایسه نتایج حاصل از این دو مدل در شبیه‌سازی پارامترهای آبیاری سطحی انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در کشت و صنعت امیرکبیر، متعلق به مرکز تحقیقات نیشکر انجام شد. کشت و صنعت امیرکبیر در ۴۵ کیلومتری جنوب اهواز و در غرب رودخانه کارون و شرق جاده اهواز به خرمشهر و در طول جغرافیائی ۴۸۰۱۲' تا ۳۰' ۴۸۰ و عرض جغرافیائی ۳۱۵ ۱۵' تا ۳۱۵ ۴۰' قرار گرفته است. بافت خاک مزرعه لوم رسی شنی با جرم مخصوص ظاهری  $gr/cm^3$  ۱/۶۵ بوده و طول جویچه‌ها برابر ۲۵۰ متر، عرض آن‌ها ۱/۸۳ متر و شیب زمین ۰/۰۰۰۴ متر بر متر است. آزمایش‌ها در سه تکرار با جریان پیوسته در جویچه‌های انتها باز، انجام و میزان آب ورودی و خروجی به جویچه‌های آزمایشی با استفاده از فلوم WSC تیپ ۲ اندازه‌گیری شد. مقطع هندسی جویچه‌ها به وسیله مقطع‌سنج، اندازه‌گیری گردید. ضریب زبری نیز با استفاده از معادله مانینگ محاسبه شد. نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزارهای SIRMOLD و WinSRFR شبیه‌سازی و

WinSRFR را برای بهبود کارایی سامانه آبیاری نواری در مزرعه چغندرقد (در جنوب شرقی ایران) تحت شدت جریان و پارامترهای هندسی مختلف مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها پیشنهاد کردند که در شرایط آزمایش مزرعه‌ای، شدت جریان ۳ لیتر بر ثانیه و زمان قطع جریان ۳۷۹/۵ دقیقه، بالاترین میزان کارایی را در سامانه آبیاری نواری دارد (Mazarei et al., 2020). هوشمند و همکاران (۱۳۹۸) عملکرد نرم‌افزارهای SIRMOLD و WinSRFR در شبیه‌سازی جریان آب در آبیاری جویچه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها همچنین روش‌های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ و تأثیر آن‌ها در برآورد زمان پیشروی، پسروی و حجم آب نفوذ یافته در آبیاری جویچه‌ای را با استفاده از دو نرم‌افزار فوق مقایسه نمودند. نتایج کلی نشان داد که در صورت برآورد دقیق ضرایب نفوذ آب، هر دو مدل SIRMOLD و WinSRFR پیش‌بینی‌های مشابهی را نشان داده و استفاده از این دو نرم‌افزار در شبیه‌سازی، طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی توصیه می‌گردد.

سروش و ریاحی مدوار (۱۳۹۸) پژوهشی باهدف تحلیل عدم قطعیت نتایج شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب خروجی و منحنی پیشروی مدل‌سازی شده توسط نرم‌افزار WinSRFR در آبیاری جویچه‌ای با روش مونت کارلو انجام دادند. نتایج تحلیل عدم قطعیت نشان داد که با کاربرد روش مونت کارلو، عدم قطعیت پارامترهای مدل به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت و استفاده از این روش در مدل‌سازی و مدیریت سامانه‌های آبیاری جویچه‌ای توصیه می‌شود. سیفی و همکاران در تحقیقی به ارزیابی عدم قطعیت مدل شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل WinSRFR با تغییر در پارامترهای سطح مقطع هندسی، نفوذ و زبری پرداختند. نتایج نشان داد خروجی‌های نرم‌افزار WinSRFR دارای عدم قطعیت بالایی برای پارامترهای سطح مقطع نسبت به پارامترهای نفوذ خاک و زبری هستند. خروجی‌های مدل نسبت به ضریب زبری، عدم قطعیت و ناپایداری بیشتری را در پاسخ به تنوع پارامترهای نفوذ خاک نشان دادند؛ بنابراین استفاده از روش‌ها و تجهیزات صحرائی دقیق و اندازه‌گیری مناسب نفوذ خاک توصیه می‌شود. نتایج بر اهمیت

مدل WinSRFR یکی از ابزارهای مورد استفاده در شبیه‌سازی آبیاری سطحی است که کاربرد زیادی در طراحی و مدیریت آبیاری سطحی دارد. WinSRFR بر اساس حل عددی مدل‌های ریاضی اینرسی صفر و موج کینماتیک استوار است. شبیه‌سازی جریان سطحی توسط معادلات سنت و نانت که ترکیبی از معادلات پیوستگی و مومنتم برای جریان غیرماندگار یک‌بعدی است، انجام می‌شود (Strelkoff and Clemmens, 2007). شبیه‌سازی با این نرم‌افزار به داده‌های ورودی نیاز دارد که دقت اندازه‌گیری آن‌ها در نتایج و خروجی مدل بسیار تأثیرگذار است. پارامترهای ورودی به مدل شامل دبی ورودی، طول، عرض و شیب زمین، ضریب مانینگ، سطح مقطع جریان و ضرایب توابع نفوذ (نیاز به واسنجی دارد) می‌باشند (Bautista et al., 2009a).

اجرای برنامه دارای چهار بخش تحلیل رویداد (ارزیابی وضعیت آب کاربردی و تخمین پارامترهای نفوذ)، تحلیل عملیات (ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری، بکنواختی توزیع، پتانسیل راندمان کاربرد و رواناب و ...)، طراحی فیزیکی (بهبودسازی ابعاد سامانه) و شبیه‌سازی (شبیه‌سازی اطلاعات مراحل قبل) است. در این تحقیق از آنالیز مریام و کلر و برای کالیبراسیون پارامترهای نفوذ و از معادله کاستیاکوف اصلاح‌شده استفاده گردید.

### نرم‌افزار SIRMOD

SIRMOD برای شبیه‌سازی انواع روش‌های آبیاری سطحی (شیاری، نواری و کرتی) با حل هیدرودینامیکی معادلات سنت و نانت با استفاده از روش عددی انتگرال اویلری، زمان و مکان متغیر خروجی را ارائه می‌دهد و می‌تواند رژیم‌های قطع جریان و جریان موجی را مورد بحث قرار دهد (Walker, 1993). برای شبیه‌سازی در این نرم‌افزار مهم‌ترین بخش موازنه حجم در مرحله پیشروی است. با فرضیاتی ریاضی، سطح مقطع جریان را محاسبه می‌کند. سپس در محاسبه مرحله پیشروی و محیط خیس شده استفاده می‌شود (Majdzadeh et al., 2009).

باهم مقایسه گردید. به‌منظور محاسبه پارامترهای معادله نفوذ از روش دو نقطه‌ای الیوت و واکر<sup>۱</sup> استفاده شد (Bakker and Plunkett., 2006). در این روش از دو نقطه میانی و انتهایی برای تخمین پارامترهای معادله کاستیاکوف-لویس اصلاح‌شده استفاده گردید.

$$I = kt^a + f_0t + c \quad (۱)$$

که در آن، I و  $f_0$  به ترتیب مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ نهایی در خاک (مترمکعب بر متر بر دقیقه)، t فرصت زمان نفوذ (دقیقه)، a و k ضرایب تجربی مربوط به نوع خاک می‌باشند. در جدول ۱ ضرایب معادله کاستیاکوف-لویس به‌دست‌آمده در مزرعه مورد آزمایش ارائه گردیده است.

جدول ۱- ضرایب معادله کاستیاکوف لویس

| k                       | $f_0$  | C | a   |
|-------------------------|--------|---|-----|
| مترمکعب بر متر بر دقیقه |        |   |     |
| ۰/۰۰۸                   | ۰/۰۰۰۱ | ۰ | ۰/۳ |

### نرم‌افزار WinSRFR

برنامه WinSRFR یک بسته نرم‌افزاری جامع برای تحلیل و بهینه‌سازی جریان در آبیاری سطحی است. این نرم‌افزار، برنامه‌های شبیه‌سازی مستقل نظیر SRFR (Strelkoff et al., 1998)، BORDER (Strelkoff et al., 1996)، BASIN (Clemmens et al., 1995) را به‌صورت یک برنامه کاربردی تحت ویندوز یکپارچه ساخته است. این برنامه با هدف ارائه ابزاری برای تحلیل‌های کاربردی در انواع مختلف سامانه‌های آبیاری سطحی و همین‌طور به‌عنوان یک بنیاد نرم‌افزاری برای ادامه پژوهش در هیدرولیک آبیاری سطحی از سال ۲۰۰۶ تاکنون توسط مرکز تحقیقات مناطق خشک و بخش تحقیقات کشاورزی آمریکا توسعه یافته است (Bautista et al., 2009b).

<sup>1</sup> Elliott and Walker

معادله رگرسیون برازش داده‌ها، خطای نسبی (RE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R2) به صورت رابطه زیر استفاده شد.

$$X_p = \lambda X_m \quad (4)$$

$$RE = \frac{|X_p - X_m|}{X_m} \times 100 \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{mi} - X_{pi})^2}{N}} \quad (6)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_m - X_p)^2}{\sum_{i=1}^n (X_m - \bar{X}_m)^2} \quad (7)$$

که در آن  $X_p$  مقدار شبیه‌سازی شده،  $X_m$  مقدار اندازه‌گیری شده،  $\bar{X}_m$  مقدار متوسط اندازه‌گیری شده،  $N$  تعداد اندازه‌گیری‌ها و  $\lambda$  شیب معادله خط برازش است. اگر  $\lambda$  کوچک‌تر از یک باشد نشان‌دهنده پیش‌بینی کمتر از مقدار واقعی و اگر بیشتر از یک باشد نشان‌دهنده پیش‌بینی بیشتر از مقدار واقعی است. مقدار  $\lambda$  نزدیک به یک و خطای نسبی نزدیک به صفر نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب توسط مدل است.

### شاخص‌های عملکرد

مقایسه عملکرد داده‌های اندازه‌گیری شده با شبیه‌سازی انجام شده توسط نرم‌افزارهای WinSRFR و SIRMOD با شاخص‌های راندمان کاربرد ( $AE^1$ )، یکنواختی توزیع ( $DU^2$ ) و نفوذ عمقی ( $DP^3$ ) مطابق رابطه‌های زیر ارزیابی گردید.

$$AE(\%) = \left( \frac{D_{rz}}{D_{app}} \right) \times 100 \quad (8)$$

$$DU(\%) = \left( \frac{D_{min}}{D_{app}} \right) \times 100 \quad (9)$$

روش‌های حل در SIRMOD با تقریب مدل‌های اینرسی صفر، مدل موج سینماتیک و مدل هیدرودینامیک کامل می‌باشند.

ورودی‌های اصلی مدل SIRMOD شامل شدت جریان ورودی، مشخصات هندسی سطح مقطع شیپار، طول و شیب شیپار پارامترهای نفوذپذیری و پارامتر مقاومت هیدرولیکی هستند.

### مدل اینرسی صفر

در این تحقیق از روش اینرسی صفر برای حل معادلات جریان آب در آبیاری سطحی (جویچه‌ای) و شبیه‌سازی جریان با استفاده از نرم‌افزارهای WinSRFR و SIRMOD استفاده شد (Moravejalakhkami et al., 2009; Abbasi et al., 2003). این مدل برای هیدروگراف جریان ثابت نوشته شده است. از آنجایی که سرعت جریان در آبیاری جویچه‌ای معمولاً کم است، عدد فرود جریان نیز نسبتاً کم خواهد بود؛ بنابراین برای مدل اینرسی صفر معادله پیوستگی (۲) و معادله حرکت مومنوم ساده شده (۳) با نادیده گرفتن شتاب و شرایط اینرسی، به صورت زیر محاسبه می‌گردد (Strelkoff and Katapodes, 1977).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (3)$$

که در آن  $Q$  نرخ جریان،  $A$  سطح مقطع جریان،  $Z$  نفوذ تجمعی،  $t$  زمان،  $x$  فاصله در امتداد جهت جریان،  $y$  عمق جریان،  $S_0$  شیب بستر کانال و  $S_f$  شیب اصطکاک است.

### ارزیابی مدل‌ها

برای مقایسه و ارزیابی مقادیر مشاهده شده و مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب، نفوذ و زمان پیشروی به وسیله مدل‌های WinSRFR و SIRMOD از معیارهای ارزیابی مختلف از جمله

<sup>1</sup> Application efficiency

<sup>2</sup> Distribution uniformity

<sup>3</sup> Deep percolation

WinSRFR و SIRMOD آورده شده است. نتایج نشان داد که مجموع زمان پیشروی در دو مدل بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است که با نتایج تحقیقات فراستی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت نداشت. زمان پیشروی برآورد شده در مدل SIRMOD حدود ۱۳ درصد بیشتر از زمان پیشروی اندازه‌گیری شده به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف بین زمان پیشروی در داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده، ۲۳ دقیقه و کمترین آن ۱۵ دقیقه به ترتیب در مدل‌های WinSRFR و SIRMOD به دست آمد. همچنین پردازش داده‌ها با معادله رگرسیونی مقادیر مشاهده‌شده با پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های WinSRFR و SIRMOD نشان داد که مقادیر پیش‌بینی‌شده زمان پیشروی جریان بیشتر از مقادیر واقعی بود ( $\lambda < 1$ ). نتایج به‌دست‌آمده با مدل WinSRFR نسبت به مدل SIRMOD به واقعیت نزدیک‌تر بود که این نشان‌دهنده دقت بالای مدل WinSRFR در پیش‌بینی فاز پیشروی در نوارهای آبیاری بود. این نتایج با برآوردهای زارع چینجانی (۱۳۹۰)، فراستی و همکاران (۱۳۹۷)، مجدزاده و همکاران (Majdzadeh et al., 2009) و سیاری و همکاران (Sayari et al., 2017) مطابقت داشت.

$$DP(\%) = \left( \frac{Ddp}{D_{app}} \right) \times 100 \quad (10)$$

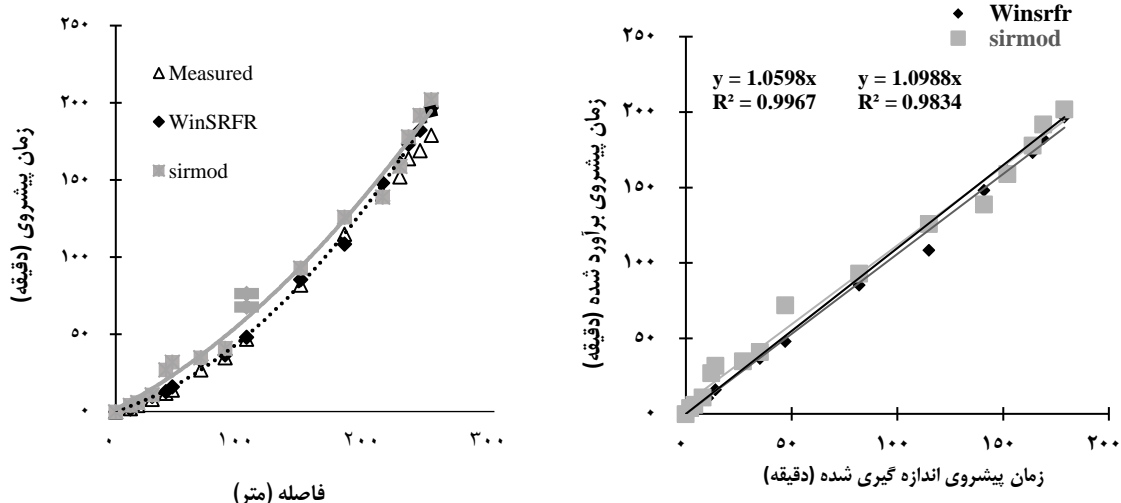
که در آن  $D_{rc}$  عمق آب موردنیاز ریشه،  $D_{app}$  عمق متوسط آب اعمال‌شده،  $D_{min}$  حداقل عمق نفوذ و  $Ddp$  میانگین عمق آب نفوذ یافته به‌صورت عمقی از ناحیه ریشه است.

## نتایج و بحث

جهت شبیه‌سازی جریان آب در روش آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل اینرسی صفر نرم‌افزارهای SIRMOD و WinSRFR از اطلاعات مزرعه‌ای به‌عنوان پارامترهای ورودی مدل استفاده شد. سپس نتایج خروجی نرم‌افزارها با داده‌های مزرعه‌ای و همچنین دو نرم‌افزار با یکدیگر مقایسه شد.

## شبیه‌سازی زمان پیشروی

در شکل ۱ نتایج حاصل از پیشروی جریان در طول نوار آبیاری در مزرعه و شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های دو مدل

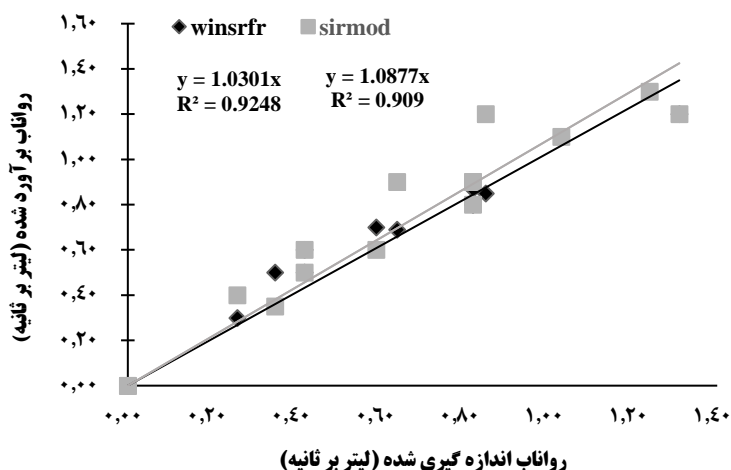


شکل ۱- مقایسه زمان پیشروی (min) در داده‌های حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای و برآورد شده توسط نرم‌افزارهای WinSRFR و SIRMOD

### شبیه سازی میزان رواناب

همان طور که در جدول شماره ۲ مشاهده می گردد متوسط حجم رواناب برآورد شده توسط نرم افزار SIRMOD، ۳۹/۴ مترمکعب برآورد شده است که نسبت به مقدار واقعی اندازه گیری شده آن ۳۴ درصد بیشتر بود. نتایج به دست آورده توسط مدل WinSRFR با مقدار مشاهده شده نزدیک تر بود که بیانگر کارایی خوب مدل WinSRFR در شبیه سازی میزان رواناب در آبیاری جویچه ای است. در شکل ۲ برآورد دبی رواناب توسط نرم افزارهای WinSRFR و SIRMOD و مقایسه آن با مقدار واقعی، آورده شده است. از کل جریان آب ورودی به جویچه، ۵۳ درصد آن در خاک نفوذ کرده و ۴۷ درصد آن به رواناب تبدیل شده و از انتهای جویچه وارد زه آب می گردد. نتایج به دست آمده از شبیه سازی میزان رواناب و حجم آب نفوذی توسط نرم افزارهای WinSRFR و SIRMOD متفاوت بود. نسبت

حجم روان آب و نفوذ یافته در خاک، توسط نرم افزار WinSRFR تقریباً برابر بودند و به داده های اندازه گیری شده در مزرعه نزدیک تر بود؛ اما این مقدار در نرم افزار SIRMOD به ترتیب برابر ۵۶ و ۴۴ درصد بود. برخلاف نتایج داده های واقعی و برآورد شده توسط نرم افزار WinSRFR، میزان رواناب تخمین زده شده با نرم افزار SIRMOD بیشتر از مقدار آب نفوذ یافته در خاک بود. با مقایسه خروجی های هر دو مدل با میزان رواناب اندازه گیری در مزرعه توسط هیدرفلوم، مشاهده شد که مدل های WinSRFR و SIRMOD به ترتیب با  $\lambda = 1/0.9$  و  $\lambda = 1/0.3$  متوسط حجم رواناب را تخمین زده اند که نشان می دهند مدل WinSRFR با خطای ۳ درصدی و مدل SIRMOD با خطای ۹ درصدی حجم رواناب را شبیه سازی نموده اند که بیانگر توانایی و دقت بالای مدل WinSRFR در برآورد داده های شبیه سازی آبیاری سطحی است.



شکل ۲- مقایسه دبی رواناب (لیتر بر ثانیه) در داده های حاصل از آزمایش های مزرعه ای و برآورد شده توسط نرم افزارهای WinSRFR و SIRMOD

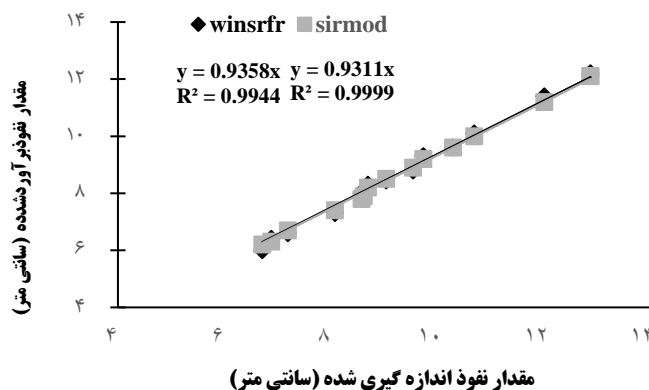
### شبیه سازی میزان نفوذ

در جدول شماره ۲ بیان حجم آب نفوذ یافته با استفاده از داده های مزرعه و پیش بینی شده توسط دو نرم افزار WinSRFR و SIRMOD آورده شده است. از کل حجم آب ورودی به جویچه ها، ۵۳ درصد آن در خاک نفوذ یافته و مابقی به صورت

رواناب از جویچه خارج می گردد. نتایج حاصل از شبیه سازی جریان آب توسط مدل های WinSRFR و SIRMOD، مقادیر نفوذ ۵۱ و ۴۴ درصد را نشان داد؛ که بیانگر برآورد خوب حجم نفوذ آب در خاک توسط مدل WinSRFR است اختلاف داده های شبیه سازی شده توسط مدل SIRMOD با مقادیر

SIRMOD نشان داده شده است همان‌طور که مشاهده می‌گردد، شیب منحنی رگرسیون، کوچک‌تر از یک است یعنی مقدار نفوذ برآورد شده نسبت به مقدار واقعی کمتر است.

واقعی بسیار زیاد بود. در شکل ۳ مقایسه عمق نفوذ آب برحسب ارتفاع نفوذ (سانتی‌متر) در داده‌های حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای و برآورد شده توسط نرم‌افزارهای WinSRFR و



شکل ۳- مقایسه عمق نفوذ آب (سانتی‌متر) در داده‌های حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای و برآورد شده توسط نرم‌افزارهای WinSRFR و SIRMOD

بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده و مقدار نفوذ ( $\lambda = 0.94$  و  $0.93$ ) را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده پیش‌بینی می‌کنند. میانگین مقدار RMSE در تخمین زمان پیشروی برای مدل WinSRFR و SIRMOD به ترتیب  $6/5$  و  $7/4$  دقیقه بود. بر این اساس، نرم‌افزار WinSRFR زمان‌های پیشروی را با دقت بالاتری نسبت به SIRMOD شبیه‌سازی کرد. عباسی و همکاران (Chen et al., 2003)، چن و همکاران (Abbasi et al., 2003)، انور و همکاران (Anwar et al., 2016)، سیاری و همکاران (Sayari et al., 2017)، خو و همکاران (Khu et al., 2019) و مزارعی و همکاران (Mazarei et al., 2020) همچنین گزارش دادند که نرم‌افزار WinSRFR دارای دقت خوب و خطای کمی در شبیه‌سازی زمان‌های پیشروی است. بر اساس مقادیر شاخص‌های آماری جدول ۲، به‌طور کلی دقت مدل WinSRFR با اختلاف کمی بالاتر از دقت مدل SIRMOD است.

## نتایج شاخص‌های ارزیابی

دقت نرم‌افزار WinSRFR و SIRMOD در شبیه‌سازی زمان‌های پیشروی، میزان رواناب و نفوذ عمقی در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج بر اساس شاخص‌های آماری مورد بررسی ارائه گردید (جدول ۲). مقادیر مشاهده شده و برآورد شده رواناب، نفوذ و زمان پیشروی ارائه شده بیانگر این است که نرم‌افزارها، رواناب، نفوذ و زمان پیشروی را با همبستگی بالایی شبیه‌سازی کرده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مقدار  $\lambda$  از  $0.93$  تا  $0.94$ ، RMSE از  $0.12$  تا  $0.14$ ، RE از  $2/6$  تا  $14/3$  متغیر می‌باشند. این مقادیر نشان‌دهنده عملکرد قابل‌قبول مدل‌ها جهت شبیه‌سازی جریان در آبیاری جویچه‌ای بوده که با تحقیقات قبلی مطابقت دارد (Bautista et al., 2012; Gillies et al., 2010; Anwar et al., 2016; Mehri et al., 2023) در این تحقیق هر دو مدل، مقدار زمان پیشروی ( $1/06$  و  $1/1$ ) و رواناب را ( $1/09$  و  $1/03$ ) را

جدول ۲- مقایسه زمان های پیشروی، رواناب و نفوذ اندازه گیری و شبیه سازی شده مدل ها با استفاده از شاخص های آماری

| R <sup>2</sup> | RE   | RMSE | λ    |         |                |
|----------------|------|------|------|---------|----------------|
| ۰/۹۹           | ۱۰/۱ | ۴/۵  | ۱/۰۶ | WinSRFR | زمان پیشروی    |
| ۰/۹۷           | ۱۲/۸ | ۵/۷  | ۱/۱۰ | SIRMOD  | (Advence time) |
| ۰/۸۴           | ۲/۶  | ۰/۱۴ | ۱/۰۳ | WinSRFR | رواناب         |
| ۰/۸۶           | ۱۰/۸ | ۰/۱۳ | ۱/۰۹ | SIRMOD  | (Runoff)       |
| ۰/۹۱           | ۴/۹  | ۰/۵۶ | ۰/۹۴ | WinSRFR | نفوذ           |
| ۰/۸۸           | ۴/۵  | ۰/۶۶ | ۰/۹۳ | SIRMOD  | (Infiltration) |

### بیان حجمی آب

پیشروی و میزان رواناب نشان می دهد که هر دو مدل WinSRFR و SIRMOD مقادیر بیشتری از مقادیر اندازه گیری شده را تخمین نموده اند که این نتیجه در انطباق با نتایج تحقیقات گذشته است (Mehri, et al., 2023) و فراستی و همکاران، (۱۳۹۷). این تفاوتها احتمالاً با شرایط ماندایی در مرز پایین شیارها، تخمین نامناسب پارامترهای نفوذ و یا عدم دقت اندازه گیری جریان ورودی و خروجی ارتباط دارد (غلامی سفیدکوهی و کولاتیان، ۱۳۹۳). همچنین خطای ناشی از فلوام های اندازه گیری و عدم دقت در قرائت آنها نیز می تواند دلیل اختلاف باشند. بدیهی است که خطا در اندازه گیری رواناب تأثیر مستقیم روی حجم آب نفوذ یافته دارد (مکاری قهرودی و همکاران، ۱۳۹۲). آدامو و همکاران (Adamu et al., 2022) و فراستی و همکاران (۱۳۹۷) نیز گزارش دادند که عملکرد نرم افزار WinSRFR در تخمین حجم نفوذ و رواناب بهتر از SIRMOD است.

بیان حجمی آب برای داده های اندازه گیری شده آبیاری جویچه ای و شبیه سازی های انجام شده محاسبه گردید (جدول ۳). ارزیابی بیان حجم آب یکی از روش های ارزیابی و بررسی دقت نرم افزارهای شبیه سازی است (مکاری قهرودی و همکاران، ۱۳۹۲). در جدول ۳ حجم آب نفوذ یافته با استفاده از تفاضل حجم آب ورودی به مزرعه و حجم رواناب خروجی از مزرعه (روش ورودی-خروجی) محاسبه شده است. براساس این جدول و مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده بیشترین خطای مدل WinSRFR مربوط به برآورد زمان پیشروی و کمترین آن به برآورد حجم آب ورودی تعلق دارد که در تحقیقات مکاری قهرودی و همکاران (۱۳۹۲) نیز کمترین خطا مربوط به حجم آب ورودی گزارش شد. برای مدل SIRMOD نیز بیشترین و کمترین میزان خطای نسبی به ترتیب مربوط به زمان پیشروی و عمق نفوذ به دست آمد. برآورد زمان

جدول ۳- نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون لجستیک در بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت در طرح تعادل بخشی آبخوان دشت سروستان

| روش      | مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی شده |                   |            |            | خطای نسبی    |                   |            |            |
|----------|------------------------------------|-------------------|------------|------------|--------------|-------------------|------------|------------|
|          | حجم آب ورودی                       | حجم آب نفوذ یافته | حجم رواناب | عمق آبیاری | حجم آب ورودی | حجم آب نفوذ یافته | حجم رواناب | عمق آبیاری |
|          | مترمکعب                            |                   |            | میلی متر   | درصد         |                   |            |            |
| Measured | ۶۲/۹۱                              | ۳۳/۵              | ۲۹/۳       | ۷۳         | -            | -                 | -          | -          |
| WinSRFR  | ۶۲/۱                               | ۳۱/۹              | ۳۰/۲       | ۶۹/۹       | ۱/۳          | ۴/۹               | ۲/۶        | ۴/۷        |
| SIRMOD   | ۶۴/۶                               | ۳۲/۱              | ۳۲/۵       | ۷۰/۱       | ۲/۷          | ۴/۵               | ۱۰/۸       | ۴/۵        |

## شاخص‌های عملکرد آبیاری جویچه‌ای

شاخص‌های عملکرد AE، DU و DP برای داده‌های اندازه‌گیری شده آبیاری جویچه‌ای و شبیه‌سازی‌های انجام شده محاسبه گردید (جدول ۴). مقدار AE و DU بالا (بیشتر از ۹۰ درصد)، نشان‌دهنده مدیریت صحیح و استفاده مناسب از سامانه آبیاری است و مقادیر کم این پارامترها نشان‌دهنده مدیریت ضعیف آبیاری و ایجاد تلفات زیاد آب در مزرعه است. علاوه بر AE و DU، کفایت آبیاری نیز در طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری مهم است. نتایج جدول ۴ نشان داد که حداکثر و حداقل

مقادیر AE به ترتیب مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده و مدل SIRMOD است. در کلیه پارامترهای جدول مذکور عملکرد نرم‌افزار WinSRFR بهتر از SIRMOD است اما نباید نتایج قابل قبول SIRMOD را نادیده گرفت. شیب مناسب زمین و نداشتن خاک فشرده (کاهش تردد ماشین‌آلات)، حجم بیشتری از آب را به ناحیه ریشه انتقال می‌دهد که باعث کاهش مقدار نفوذ عمقی (DP) می‌شود (Mehri et al., 2023). این نتایج با نتایج تحقیقات دیگر انجام شده در این زمینه همخوانی دارد (Xu et al., 2019; Salahou et al., 2018; Smith et al., 2005 and Kifle et al., 2017).

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی عملکرد سامانه آبیاری جویچه‌ای

| روش      | راندمان کاربرد<br>درصد | نفوذ عمقی<br>درصد | رواناب<br>درصد | یکنواختی توزیع<br>درصد |
|----------|------------------------|-------------------|----------------|------------------------|
| Measured | ۴۵                     | ۸                 | ۴۷             | ۹۵                     |
| WinSRFR  | ۴۲                     | ۹                 | ۴۹             | ۹۳                     |
| SIRMOD   | ۳۹                     | ۱۱                | ۵۰             | ۹۳                     |

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل اینرسی صفر دو نرم‌افزار WinSRFR و SIRMOD به شبیه‌سازی جریان در آبیاری جویچه‌ای بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه، پرداخته شد. بر اساس شاخص‌های آماری موردبررسی مشاهده گردید که به‌طور کلی هر دو نرم‌افزار توانایی خوبی در شبیه‌سازی جریان در آبیاری جویچه‌ای دارند. مدل WinSRFR زمان پیشروی و رواناب را به ترتیب به میزان ۶٪ و ۳٪ و مدل SIRMOD زمان پیشروی و رواناب را به ترتیب به میزان ۱۰٪ و ۹٪ بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده، محاسبه نمودند؛ اما برآورد مدل‌های WinSRFR و SIRMOD برای حجم نفوذ به ترتیب ۶٪ و ۹٪ کمتر از داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه بود. در بررسی شاخص‌های عملکرد آبیاری جویچه‌ای نیز مشخص گردید که شبیه‌سازی مدل WinSRFR با مقدار راندمان کاربرد بیشتر و رواناب کمتر، به داده‌های اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است. بر اساس نتایج موجود عملکرد نرم‌افزار

WinSRFR با اختلاف کمی بهتر از نرم‌افزار SIRMOD است. همچنین مشاهده گردید که با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌های صحرائی، با استفاده از نرم‌افزارهای موردبررسی می‌توان حجم آب ورودی و نفوذ را با دقت خوبی در خطاهای نسبی (کمتر از ۵ درصد) شبیه‌سازی کرد. به‌طور کلی میزان خطای نسبی مدل WinSRFR در برآورد پارامترهای موردبررسی بهتر از مدل SIRMOD بوده که از دلایل آن می‌توان به حساسیت نرم‌افزار WinSRFR در تخمین معادله نفوذ و برآورد نزدیک به واقعیت آن اشاره کرد.

## منابع

اسفندیاری، م. ۱۳۸۷. بهبود راندمان‌های آبیاری با تسطیح لیزری اراضی زراعی، مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی، کرج، ایران. صفحه‌های ۲۲۰-۲۰۷.

- هوشمند، م.، رجا، ا.، پورغلام آمیچی، م. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۸. مقایسه دو نرم افزار SIRMOD و WinSRFR با روش های مختلف تخمین نفوذپذیری به منظور طراحی و مدیریت آبیاری جویچه ای. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. (۶) ۲: ۹۱-۱۰۲.
- Abbasi, F., Mahmoodian Shooshtari, M. and Feyen, J. 2003. Evaluation of various surface irrigation numerical simulation models. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 129(3): 208-213.
- Adamu, T., Ayana, M. and Aregay, G. 2022. Optimization of furrow irrigation decision variables: the case of wonji shoa sugar estate, Ethiopia. *Discover Water*. 2:10.
- Ahmadabadi, Y. H., Liaghat, A., Sohrabi, T., Rasoulzadeh, A. and Ebrahimian, H. 2020. Improving performance of furrow irrigation systems using simulation modelling in the Moghan plain of Iran. *Journal of Irrigation and Drainage*. 1-19.
- Anwar, A. A., Ahmad, W., Bhatti, M. T. and Haq, Z. U. 2016. The potential of precision surface irrigation in the Indus. *Basin Irrig. Syst J Irrig Sci*. 34(5): 379-396.
- Bakker, D. M. and Plunkett, G. 2006. Application efficiencies and furrow infiltration functions of irrigations in sugar cane in the Ord River Irrigation Area of North Western Australia and the scope for improvement. *Agricultural Water Management*. 83(1): 162-172.
- Bautista, E., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S. and Niblack, M. 2009a. Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR—Example application. *Agricultural Water Management*. 96(6): 1162-1169.
- Bautista, E., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S. and Schlegel, J. L. 2009b. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. *Agricultural Water Management*. 96(7): 1146-1154.
- Bautista, E., Schlegel, J. L. and Strelkoff, T. S. 2012. WinSRFR 4. 1 Use Man. *Arid Land Agric. Res. Cent*.
- Chen, B., Ouyang, Z. and Zhang, S. H. 2012. Evaluation of hydraulic process and performance of border irrigation with different حیدری، ن. و حقایقی مقدم، س. ا. ۱۳۸۰. کارایی مصرف آب بعضی محصولات غالب در مناطق مختلف ایران. گزارش برای وزارت جهاد کشاورزی. موسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی. کرج. ایران.
- زارع چینیجانی، ن. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل های SIRMOD و WinSRFR 3.1 در تحلیل، طراحی و شبیه سازی هیدرولیکی سامانه های آبیاری سطحی، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر.
- تقی زاده، ز.، وردی نژاد، و.ر.، ابراهیمیان، ح. و خان محمدی، ن. ۱۳۹۱. ارزیابی مزرعه ای و تحلیل سامانه آبیاری سطحی با winSRFR (مطالعه موردی آبیاری جویچه ای). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). (۲۶) ۶: ۱۴۵۰-۱۴۵۹.
- سروش، ف. و ریاحی مدوار، ح. ۱۳۹۸. تحلیل عدم قطعیت پارامترهای نفوذ مدل شبیه سازی آبیاری جویچه ای winSRFR با روش مونت کارلو. تحقیقات آب و خاک ایران. (۵۰) ۴: ۹۹۱-۱۰۰۷.
- عباسی، ف. ۱۳۸۷. روش های بهبود و اصلاح سامانه های آبیاری سطحی. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه های آبیاری سطحی. کرج، ایران. صفحه های ۱۲-۱.
- غلامی سفیدکوهی، م.، ع. و کولائی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی مزرعه ای و آنالیز حساسیت مدل SIRMOD در آبیاری شیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. (۸) ۳: ۴۸۳-۴۷۳.
- فراستی، م.، فرزی، س. و پورمحمد، پ. ۱۳۹۷. ارزیابی مزرعه ای و تحلیل سامانه آبیاری جویچه ای با مدل های SIRMOD و WinSRFR. مجله محیط زیست و مهندسی آب. (۴) ۳: ۲۰۷-۲۱۵.
- مکاری قهرودی، ا.، لیاقت، ع. و نحوی نیا، م. ج. ۱۳۹۲. کاربرد مدل WinSRFR در شبیه سازی آبیاری جویچه ای، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. (۱) ۷: ۶۷-۵۹.

- regular bottom configurations. *J Resour Ecol.* 3 (2): 151–160.
- Clemmens, A. J., Detrick, A. R. and Strand, R. J. 1995. BASIN—a computer program for the design of level-basin irrigation systems, version 2.0, WCL Report 19. USDA-ARS U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, AZ.
- Ebrahimian, H. and Liaghat, A. 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. *Journal of Soil and Water Research.* 6(2): 91-10.
- Ebrahimian, H. 2014. Soil Infiltration Characteristics in Alternate and Conventional Furrow Irrigation using Different Estimation Method. *KSCE Journal of Civil Engineering.* 18(6): 1904-1911.
- Ebrahimian, H., Liaghat, A., Parsinejad, M., Playan, E., Abbasi, F., Navabian, M. and Latorre, B. 2013. Optimum design of alternate and conventional furrow fertigation to minimize nitrate loss. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* 139(11):911–921.
- Esfandiari, M. and Maheshwari, B. I. 2000. Sensitivity of furrow irrigation models to input parameters. *Agriculture Engineering Journal.* 9(3,4): 117-128.
- Ismail, S. M., Thabet, A., Abdel, El-Al. and Omara, A. I. 2021. Improving irrigation performance of raised bed wheat using the WinSRFR model under Egyptian condition. *Misr J Ag Eng.* 38(4): 309–332.
- Gillies, M. H., Smith, R. J., Williamson, B., Shanahan, M. 2010. Improving performance of bay irrigation through higher flow rates irrigation. *Aust. Conf. Syd, Aust.*
- Kay, M. 1990. Recent developments for improving water management in surface and overhead irrigation. *Agricultural Water Management.* 17(1-3): 7-23.
- Kifle, M., Gebremicael, T. G., Girmay, A. and Gebremedihin, T. 2017. Effect of surge flow and alternate irrigation on the irrigation efficiency and water productivity of onion in the semi-arid areas of North Ethiopia. *Agricultural Water Management.* 187: 69–76.
- Lalehzari, R., Ansari Samani, F. and Boroomandnasab, S. 2015. Analysis of evaluation indicators for furrow irrigation using opportunity time. *Journal of Irrigation and Drainage.* 64: 85–92.
- Majdzadeh, B., Ojaghloo, H., Ghaobadi-Nia, M., Sohrabi, T. and Abbasi, F. 2009. Estimating infiltration parameter for simulation of advance flow in furrow irrigation. In *International Conference on Water Resources (ICWR 2009).*
- 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.
- Mehri, A., Soltani Mohammadi, A., Ebrahimian, H. and Boroomandnasab, S. 2023. Evaluation and optimization of surge and alternate furrow irrigation performance in maize fields using the WinSRFR software. *Agricultural Water Management.* 276: 108052.
- Moravejalakhkami, B., Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M., Abbasi, F. 2009. Furrow infiltration and roughness prediction for different furrow inflow hydrographs using a zero-inertia model with a multilevel calibration approach. *Journal of bio systems engineering.* 374 – 381.
- Salahou, M. K., Jiao, X., Lu, H. 2018. Border irrigation performance with distance-based cut-off. *Agricultural Water Management.* 201: 27–37.
- Sayari, S., Rahimpour, M., Zounemat-Kermani, M. 2017. Numerical modelling based on a finite element method for simulation of flow in furrow irrigation. *Paddy Water Environ.* 15 (4): 879–887.
- Seifi, A., Golestani Kermani, S., Mosavi, A and Soroush, F. 2023. Uncertainty Assessment of WinSRFR Furrow Irrigation Simulation Model Using the GLUE Framework under Variability in Geometry Cross Section, Infiltration and Roughness Parameters. *Water* 2023. 15(6), 1250. 1-33.
- Smith, R. J. and Uddin, M, J. 2020. Selection of flow rate and irrigation duration for high performance bay irrigation. *Agricultural Water Management.* 228: 105850.

- Smith, R. J., Raine, S. R., Minkovich, J. 2005. Irrigation application efficiency and deep drainage potential under surface irrigated cotton Agricultural Water Management. 71(2): 117–130.
- Strelkoff, T. S., Clemmens, A. J. and Schmidt, B. V. 1998. SRFR Version 3.31—A model for simulating surface irrigation in borders, basins and furrows. US Department of Agricultural Research Service, U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, AZ.
- Strelkoff, T. S., Clemmens, A. J., Schmidt, B. V. and Slosky, E. J. 1996. BORDER—A Design and Management Aid for Sloping Border Irrigation Systems. WCL Report 21. US Department of Agriculture Agricultural Research Service, U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, AZ.
- Strelkoff, T. S. and Clemmens, A. J. 2007. Hydraulics of surface systems. Design and operation of farm irrigation systems, G. Hoffman and R G Evans eds, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI.
- Strelkoff, T. and Katapodes, N. D. 1977. Border irrigation hydraulics with zero-inertia. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 103(3): 325–342.
- Walker, W. R. 1993. SIRMED, Surface irrigation simulation software. User Guide and Technical.
- Wu, D., Xue, J., Bo, X., Meng, W., Wu, Y. and Du, T. 2017. Simulation of irrigation uniformity and optimization of irrigation technical parameters based on the SIRMED. Model Altern. Furrow Irrig. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 66 (4): 478–491.
- Xu, J., Cai, H., Saddique, Q., Wang, X., Li, L., Ma, C. and Lu, Y. 2019. Evaluation and optimization of border irrigation in different irrigation seasons based on temporal variation of infiltration and roughness. Agricultural Water Management. 214: 64–77.

## Evaluating the Efficiency of WinSRFR and SIRMOD Models in the Simulation of Furrow Irrigation Using the Zero Inertia Method and Comparing Them with Field Data

C. Abdi<sup>1</sup>, S. Zandsalimi<sup>2</sup> and O. Bahmani<sup>3\*</sup>

### Abstract

Considering that the surface irrigation system is one of the most widely used irrigation methods in the country, increasing the efficiency of this irrigation system is considered one of the country's main policies. In this research, by simulating surface irrigation flow using the method of solving Saint-Venant's equations (zero inertia method) in SIRMOD and WinSRFR software and comparing it with field observations in Ahvaz Sugarcane Research Center, the efficiency of the two softwares was investigated in the simulation of surface irrigation flow. Based on the analyzed statistical indicators, it was observed that in general, both softwares have a good ability to simulate the flow in furrow irrigation. Both models calculated the advance time and runoff more and the infiltration value less than the measured values. In the investigation of furrow irrigation performance indicators, it was also found that the WinSRFR model simulation with higher application efficiency and lower runoff is closer to the measured data. Based on the results, the performance of WinSRFR software is better than SIRMOD software with a little difference (advance time 4%, infiltration volume 3% and runoff 6%). Also, it was observed that based on field experiments, the relative errors of inflow and infiltration water volumes were calculated by WinSRFR software 1.3, 2.7 and SIRMOD, 4.9% and 4.5%, respectively. In the estimation of runoff, the best and weakest performance was observed in the amount of 30.2 and 32.5 cubic meters, respectively, in WinSRFR and SIRMOD software

**Keywords:** Irrigation models, Performance evaluation, Saint venants, Surface irrigation

<sup>1</sup> Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Dept. of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup> Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Dept. of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>3</sup> Associate professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (\*Corresponding Author Email: [omid.bahmani@basu.ac.ir](mailto:omid.bahmani@basu.ac.ir))

Received: 1 Mar 2023

Accepted: 23 Jun 2023