

## مقایسه دو نرم افزار SIRMOD و WinSRFR با روش های مختلف تخمین نفوذپذیری به منظور طراحی و مدیریت آبیاری جویچه ای

محمد هوشمند<sup>۱</sup>، امید رجا<sup>۱</sup>، مسعود پورغلام آمیجی<sup>۱\*</sup> و حامد ابراهیمیان<sup>۲</sup>

### چکیده

در این پژوهش به منظور ارزیابی مدل اینرسی صفر در نرم افزار SIRMOD و WinSRFR از داده های زمان پیشروی، زمان پسروی و حجم رواناب در روش های آبیاری معمولی (CFI)، یک درمیان ثابت (FFI) و یک درمیان متغیر (AFI) استفاده شد. نتایج شبیه سازی به کمک شاخص خطای نسبی (RE) برای حجم آب نفوذ یافته و شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای پیش بینی زمان پیشروی و پسروی استفاده شد. برای تعیین ضرایب نفوذپذیری خاک از مدل SIPAR-ID، روش بهینه سازی چند سطحی، روش دونقطه ای الیوت - واکر و IPARM استفاده شد. نتایج روش CFI در نرم افزار SIRMOD نشان داد که روش دونقطه ای الیوت - واکر با RMSE برابر ۱/۸۱ دقیقه و در نرم افزار WinSRFR، مدل بهینه سازی چند سطحی با RMSE برابر با ۱/۶۶ دقیقه بیشترین دقت را در پیش بینی زمان پیشروی داشتند. نتایج شبیه سازی زمان پیشروی روش FFI نشان داد که بهترین مقدار شاخص RMSE مربوط به استفاده از مدل SIPAR-ID با مقدار ۲/۴۱ دقیقه در نرم افزار WinSRFR و ۲/۴۲ دقیقه در نرم افزار SIRMOD بود. همچنین نتایج نشان داد در روش AFI، مدل IPARM در نرم افزار SIRMOD با RMSE برابر با ۱/۶۱ دقیقه و روش بهینه سازی چند سطحی در نرم افزار WinSRFR با RMSE برابر با ۱/۲۴ دقیقه بیشترین دقت را در محاسبه زمان پیشروی داشتند؛ بنابراین به عنوان نتیجه کلی می توان بیان کرد که با توجه به پیش بینی مشابه دو نرم افزار SIRMOD و WinSRFR، استفاده از آن ها جهت شبیه سازی، طراحی و ارزیابی سامانه های آبیاری در صورت برآورد دقیق ضرایب نفوذ توصیه می شود.

**واژگان کلیدی:** آبیاری جویچه ای، پارامترهای نفوذ، موج کینماتیک، SIRMOD، WinSRFR، هیدرولیک.

### مقدمه

یکی از چالش های اصلی در کشور، مصرف بیش از حد آب توسط کشاورزان و عدم استفاده بهینه از منابع آب موجود است (ابراهیمیان و بتوخته، ۱۳۹۶). آبیاری سطحی با وجود راندمان پایین، هنوز هم بیشترین کاربرد را در میان روش های آبیاری دارد. Kay بیان داشت که ضعف در طراحی، اجرا و مدیریت آبیاری سطحی سبب کاهش راندمان این روش آبیاری شده است (Kay, 1990). لذا یکی از ابزارهای موجود برای رفع این مشکل، مدل های آبیاری سطحی جهت طراحی و ارزیابی می باشد (Smith and Uddin, 2020). با استفاده از این مدل ها می توان یک آبیاری کامل را شبیه سازی و

طراحی نموده و با تغییر عوامل ورودی آن که در حقیقت عوامل طراحی نیز می باشند؛ به بازده و یکنواختی بالایی در امر آبیاری دست یافت (مکاری قهروردی و همکاران، ۱۳۹۲).

مدل های زیادی جهت شبیه سازی حرکت آب در خاک وجود دارند که از جمله آن ها دو مدل SIRMOD و WinSRFR می باشند که بر اساس معادلات حاکم بر حرکت آب موسوم به معادلات سنت-ونانت طراحی شده اند. مقایسه نتایج مدل های اینرسی - صفر و هیدرودینامیک توسط کلمنز و استرلکوف نشان داد که نتایج این دو مدل بسیار به هم نزدیک هستند. این مقایسه ها همچنین سازگاری بهتری را بین نتایج مدل موج کینماتیک و مدل هیدرودینامیک برای شیب های تندتر نشان داد (Clemmens and Strelkoff, 1999).

مقایسه مدل های هیدرودینامیک، اینرسی - صفر و موج کینماتیک در شبیه سازی آبیاری سطحی با استفاده از مدل SIRMOD نشان داد که مدل های هیدرودینامیک و اینرسی صفر در فرایند شبیه سازی، مدل های بسیار قوی بوده و تا شیب یک درصد تفاوتی بین نتایج این دو مدل وجود ندارد؛ اما با افزایش شیب، به خاطر افزایش سرعت جریان، دقت مدل اینرسی - صفر، به تدریج کاهش می یابد.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(\* نویسنده مسئول: Mpourgholam6@ut.ac.ir).

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۵

باتیستا و همکاران قابلیت مدل WinSRFR را در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سامانه‌های مختلف آبیاری سطحی تأیید کردند (Bautista et al. 2009).

از طرفی مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر آبیاری سطحی و مشکل‌ترین پارامتر ارزیابی سیستم‌های آبیاری سطحی، برآورد میزان آب نفوذ یافته در خاک است (ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۸۹). نفوذپذیری از سطح خاک، دارای مکانیسمی پیچیده بوده و بستگی به خواص فیزیکی و شیمیایی آب‌وخاک دارد. نفوذپذیری پارامتری متغیر بوده و ممکن است از یک نقطه مزرعه به نقطه دیگر و از زمانی به زمان دیگر، چندین برابر تغییر کند و از طرفی جهت ارزیابی، طراحی و یا شبیه‌سازی یک سیستم آبیاری سطحی در مرحله اول نیاز به تعیین ضرایب معادله نفوذ با دقت بالا می‌باشد (عباسی، ۱۳۹۱).

در تحقیقی از دو مدل IPARM و INFILT و روش دونقطه‌ای الیوت-واکر برای برآورد پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکوف-لوویس برای آبیاری جویچه‌ای معمولی، یک‌درمیان ثابت و یک‌درمیان متغیر استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل IPARM دقیق‌ترین و مطمئن‌ترین عملکرد را در مقایسه با روش‌های دیگر دارد (کمالی و همکاران، ۱۳۹۶).

مجدزاده و همکاران (۱۳۸۷) برآورد ضرایب معادله نفوذ انجام دادند، آن‌ها نشان دادند که روش INFILT و دونقطه‌ای الیوت و واکر بهترین برآورد را دارند. همچنین به این نتیجه رسیدند که روش بهینه‌سازی چند سطحی بهتر از روش دونقطه‌ای الیوت و واکر ضرایب معادله نفوذ را برآورد می‌کند. در مطالعه‌ای روش‌های IPARM، INFILT و روش دونقطه‌ای الیوت-واکر جهت تخمین ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف و لوویس موردبررسی قرار گرفتند و نتایج نشان داد که مدل IPARM دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش می‌باشد (Ebrahimian, 2014). هولزپفل و همکاران در مطالعه‌ای برای به دست آوردن ضرایب معادله نفوذ از چهار روش مختلف استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش دونقطه‌ای الیوت-واکر مناسب‌ترین و روش یک نقطه‌ای ضعیف‌ترین نتیجه را برای برآورد ضرایب معادله نفوذ کوستیاکوف داشتند (Holzapfel et al. 2004). بیک‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) روش‌های بهینه‌سازی چند سطحی و دونقطه‌ای الیوت-واکر را موردبررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش بهینه‌سازی چند سطحی در هر دو مرحله پیشروی و پسروی نسبت به روش دونقطه‌ای الیوت - واکر بهتر عمل کرده و موجب کاهش خطای شبیه‌سازی می‌گردد.

(Valipour, 2012). ابراهیمیان و لیاقت عملکرد سه مدل ریاضی هیدرودینامیک، اینرسی صفر و موج کینماتیک را برای آبیاری جویچه‌ای و نواری در نرم‌افزار SIRMOD موردبررسی قرار دادند که بر اساس نتایج آن‌ها، اختلاف ناچیزی بین مدل‌های هیدرودینامیک و اینرسی صفر در تخمین زمان‌های پیشروی و پسروی، نفوذپذیری و رواناب در هر دو روش آبیاری جویچه‌ای و نواری به دست آمد (Ebrahimian and Liaghat, 2011). مکاری قهرودی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی و شبیه‌سازی مراحل مختلف آبیاری جویچه‌ای به کمک مدل WinSRFR پرداختند. بر اساس نتایج این تحقیق، بیشترین میانگین خطای مدل مربوط به برآورد حجم رواناب سطحی (۶/۲ درصد) و کم‌ترین آن مربوط به برآورد حجم آب ورودی (۳/۳۲ درصد) می‌باشد. رضاوودی نژاد و نورجو (۱۳۹۲) در بررسی بهینه‌سازی عملکرد آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل WinSRFR در شرایط تحکیم بستر کاشت چغندر قند دریافتند که حداکثر خطای نسبی مدل در برآورد زمان پیشروی، پسروی و رواناب خروجی در تیمارهای مختلف به ترتیب ۲/۱، ۴/۷، ۴/۵ درصد می‌باشد.

زارع چنیجانی (۱۳۹۰) همه مدل‌های موجود در دو نرم‌افزار WinSRFR و SIRMOD را با اطلاعات نوارهای تحت کشت سورگوم علوفه‌ای در مرکز تحقیقات برنج کشور در شهر رشت مورد مقایسه قرارداد. نتایج نشان داد که همه مدل‌ها در مرحله پیشروی مقادیر بیش از مقدار واقعی ارائه می‌دهند و در مرحله پسروی مدل‌های نرم‌افزار SIRMOD بیشتر از مقدار واقعی و مدل‌های نرم‌افزار WinSRFR کمتر از مقدار واقعی را گزارش می‌کنند همچنین بیان کرد که مقدار نفوذ در همه مدل‌ها بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی شده بود. در نتیجه با توجه به ضریب تبیین ۹۹ درصد و پایین بودن درصد متوسط خطای نسبی در شبیه‌سازی، مدل WinSRFR 3.0 به‌عنوان مبنا در شرایط مشابه پیشنهاد شد.

امروزه با توسعه مدل‌های عددی نظیر نرم‌افزارهای SIRMOD و WinSRFR به‌راحتی می‌توان عملکرد سامانه‌های مختلف آبیاری را شبیه‌سازی نمود و شاخص‌های مهم آبیاری نظیر راندمان کاربرد، نوع تلفات آب، یکنواختی و کفایت آب آبیاری را برای هر کدام از گزینه‌های طراحی تعیین کرد. به‌عنوان مثال ابراهیمیان و همکاران تنها با تغییر دبی ورودی و زمان قطع جریان نشان دادند که راندمان کاربرد در آبیاری جویچه‌ای در یکی از مزارع کرج از ۳۴ به ۷۵ درصد قابل‌افزایش است (Ebrahimian et al., 2013). مدل SIRMOD به‌طور موفقیت‌آمیزی می‌تواند سامانه‌های مختلف آبیاری سطحی را شبیه‌سازی کند (Ebrahimian and Liaghat., 2011). همچنین

کینماتیکی با روش حل عددی محاسبات را انجام می دهد. این مدل برای تحلیل هیدرولیک آبیاری سطحی دارای چهار بخش شبیه سازی، ارزیابی مزرعه ای، طرح فیزیکی و تحلیل عملیات می باشد و اساس کار مدل بر اساس حل عددی معادلات سنت-ونانت در فرم مدل هیدرودینامیکی کامل با استفاده از روش انتگرال اولیه ای است. ورودی های اصلی نرم افزار WinSRFR شامل طول و شیب مزرعه، مشخصات هندسی سطح مقطع جویچه، میزان جریان ورودی و خروجی، ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) می باشد. خروجی های نرم افزار شامل زمان پیشروی و پسروی عمق آب نفوذ یافته در امتداد طولی جویچه به شمار می روند. در این تحقیق از مدل اینرسی صفر در نرم افزار WinSRFR 4.1 استفاده شد.

### روش های برآورد نفوذ

مهم ترین و غالباً مشکل ترین پارامتر برای طراحی و ارزیابی سامانه های آبیاری سطحی، پارامتر نفوذ است. میزان آب نفوذ یافته در زمان و مکان های مختلف از مزرعه متفاوت بوده و تعداد اندازه گیری نسبتاً زیادی جهت تعیین متوسط مقدار نفوذ در سطح مزرعه مورد نیاز است. جهت طراحی و شبیه سازی یک سیستم آبیاری سطحی، قدم اول تعیین ضرایب معادله نفوذ می باشد.

### روش دونقطه ای الیوت-واکر (Two-Point Elliott-Walker)

این روش بر اساس معادله پیوستگی و شکل نمایی مرحله پیشروی بوده و برای آبیاری جویچه ای توسعه یافت و سپس برای طراحی سامانه های آبیاری کرتی و نواری نیز مورد استفاده قرار گرفت. در روش دونقطه ای الیوت-واکر از دونقطه میانی و انتهایی مرحله پیشروی برای تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوتیس استفاده می شود (ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۸۹). معادله نفوذ کوستیاکوف-لوتیس به صورت زیر می باشد:

$$Z = kt^a + f_0 t \quad (۱)$$

که در آن  $Z$  نفوذ تجمعی،  $k$ ،  $a$  ضرایب معادله نفوذ،  $t$  زمان و  $f_0$  نفوذپذیری نهایی می باشند. معادله نمایی مرحله پیشروی به صورت رابطه (۲) بیان می شود:

$$x = pt^r \quad (۲)$$

که در آن  $x$  فاصله از ابتدای مسیر،  $t$  زمان و  $p$  و  $r$  ضرایب ثابت هستند.

عملکرد نرم افزارهای آبیاری سطحی در شبیه سازی جریان آب در مزرعه به شدت وابسته به دقت تخمین ضرایب نفوذپذیری است؛ بنابراین در مطالعه حاضر به ارزیابی نرم افزارهای SIRMOD و WinSRFR در شبیه سازی حجم آب نفوذ یافته و زمان های پیشروی و پسروی در آبیاری جویچه ای پرداخته شد به طوری که ضرایب و معادلات نفوذ توسط روش های دونقطه ای الیوت - واکر، بهینه سازی چند سطحی، IPARM و SIPAR-ID برآورد شد.

## مواد و روش ها

### نرم افزار SIRMOD

نرم افزار SIRMOD که توسط Walker (1989) در دانشگاه ایالتی یوتا، کشور آمریکا، ارائه شده است یک بسته نرم افزاری جامع برای شبیه سازی هیدرولیک سامانه های آبیاری سطحی در سطح مزرعه با حل هیدرودینامیکی معادلات سنت-ونانت است که با استفاده از روش عددی انتگرال اولیه ای، زمان و مکان متغیر خروجی را ارائه می دهد. در این نرم افزار مهم ترین بخش موازنه حجم در مرحله پیشروی است. با فرضیاتی ریاضی، سطح مقطع جریان را محاسبه می کنند. سپس در محاسبه مرحله پیشروی و محیط خیس شده استفاده می شود (Majd zadeh et al, 2008). این نرم افزار در تمامی روش های آبیاری سطحی از جمله آبیاری نواری قابل اجرا است و قادر به اعمال مدیریت آبیاری در مورد جریان های موجی، کاهش دبی و آبیاری انتهایی باز یا انتهایی بسته می باشد (Walker, 1993). این نرم افزار از مدل موج کینماتیک، اینرسی صفر و هیدرودینامیک کامل برای شبیه سازی استفاده می کند. ورودی های اصلی نرم افزار SIRMOD شامل شدت جریان ورودی، مشخصات هندسی سطح مقطع جویچه، طول و شیب جویچه، ضریب زبری مانینگ ( $n$ ) می باشد. خروجی های نرم افزار شامل زمان پیشروی و پسروی عمق آب نفوذ یافته در امتداد طولی جویچه به شمار می روند. در این مطالعه از نرم افزار SIRMOD III استفاده شد.

### نرم افزار WinSRFR

نرم افزار WinSRFR مدل ریاضی یک بعدی برای تحلیل، شبیه سازی، ارزیابی و طراحی روش ها و رژیم های مختلف آبیاری سطحی است در سال ۲۰۰۶ با همکاری مرکز تحقیقات کشاورزی مناطق خشک (ARS) و بخش تحقیقات کشاورزی امریکا (USDA) توسعه یافت (Bautista et al, 2009). این نرم افزار مشخصات جریان را نسبت به مکان از ابتدای مزرعه یا زمان از لحظه شروع آبیاری متغیر فرض می کند و با دو مدل اینرسی صفر و موج

### مدل IPARM

مدل IPARM نرم‌افزاری است که ضرایب معادله نفوذ کاستیاکوف-لوئیس را بر اساس معادله بیلان حجمی برآورد می‌کند. در این مدل علاوه بر اطلاعات مرحله پیشروی، از اطلاعات مرحله ذخیره نیز برای برآورد ضرایب معادله نفوذ استفاده می‌شود. مدل IPARM توسط Gillies و Smith (2005) بر اساس بیلان حجمی و روش حل معکوس به منظور به حداقل رساندن اختلاف فاز پیشروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده و رواناب اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، توسعه یافت. به منظور در نظر گرفتن فاز ذخیره در معادله بیلان حجمی، عبارت رواناب خروجی  $V_R$  به معادله بیلان حجمی (مطابق رابطه ۷) اضافه گردید:

$$Qt = V_s + V_L + V_R \quad (۷)$$

که در آن  $Q$  دبی،  $t$  زمان،  $V_s$  و  $V_L$  به ترتیب حجم آب ذخیره سطحی و نفوذ یافته در خاک می‌باشد.

در مدل بیلان حجمی با فرض فاکتور شکل زیرسطحی ( $\sigma_z$ ) و تفکیک آن به  $\sigma_{z1}$  و  $\sigma_{z2}$ ، حجم آب نفوذ یافته از سطح خاک با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است (۱۱، ۱):

$$V_L = \int_0^x Z(t - t_s) ds = (\sigma_{z1} k t^a + \sigma_{z2} f_0 t) x \quad (۸)$$

در رابطه (۱۱)،  $x$  طول پیشروی و  $\sigma_{z1}$  و  $\sigma_{z2}$  فاکتورهای شکل زیرسطحی هستند.

### روش بهینه‌سازی چند سطحی (Multi-Level Optimization)

یکی از جدیدترین روش‌های تخمین ضرایب معادله کوستیاکوف لوئیس و نیز ضریب زبری مانینگ، روش بهینه‌سازی چند سطحی است که برخلاف روش‌های قبلی، از اطلاعات تمام مراحل آبیاری استفاده می‌نماید (Walker, 2005). از معایب عیب این روش می‌توان به محاسبات نسبتاً طولانی آن اشاره کرد. روش بهینه‌سازی چند سطحی به یک مدل ریاضی آبیاری سطحی مانند SIRMOD یا WinSRFR برای شبیه‌سازی هیدرولیک آبیاری نیاز دارد که در این مطالعه از نرم‌افزار SIRMOD استفاده شد. برخلاف روش دونقطه‌ای الیوت-واکر،  $f_0$  در این روش از داده مراحل آبیاری محاسبه می‌شود. در این روش ضرایب با استفاده از تحلیل حساسیت، اولویت‌بندی و بر اساس اطلاعات مزرعه‌ای (زمان‌های پیشروی و پسروی و هیدروگراف جریان خروجی) برآورد می‌گردند. حساسیت این داده‌ها به ضرایب مختلف نفوذ متفاوت است. به‌طور مثال زمان پسروی تقریباً

با در نظر گرفتن رابطه ۲ و لگاریتم‌گیری از طرفین معادله و با استفاده از دونقطه از منحنی پیشروی ضرایب ثابت  $p$  و  $r$  قابل محاسبه هستند. در نهایت ضرایب معادله کوستیاکوف-لوئیس با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$a = \frac{\log \left[ \left( \frac{Qt_1}{x_1} - \bar{A} - \frac{f_0 t_1}{1+r} \right) / \left( \frac{Qt_2}{x_2} - \bar{A} - \frac{f_0 t_2}{1+r} \right) \right]}{\log \left( \frac{t_1}{t_2} \right)} \quad (۳)$$

$$k = \frac{\left( \frac{Qt_1}{x_1} - \bar{A} - \frac{f_0 t_1}{1+r} \right)}{\sigma_z t_1^a} \quad (۴)$$

که در آن  $\bar{A}$  متوسط سطح مقطع جریان،  $t$  زمان پیشروی،  $Q$  دبی ورودی به جویچه و  $x$  طول پیشروی است. اندیس‌های ۱ و ۲ در معادلات بالا به ترتیب مربوط به پیشروی تا نصف و تمام طول جویچه می‌باشد.  $\sigma_z$  فاکتور شکل زیرسطحی بوده و از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$\sigma_z = \frac{a + r(1-a) + 1}{(1+a)(1+r)} \quad (۵)$$

### مدل SIPAR-ID

مدل SIPAR-ID توسط Martos و Rodriguez (2010) جهت تخمین ضرایب نفوذ معادله کوستیاکوف و ضریب زبری مانینگ در آبیاری سطحی ارائه شد. در این مدل از معادله بیلان حجمی (رابطه ۵) و روش حل معکوس جهت تخمین ضرایب معادله کوستیاکوف استفاده می‌شود. در این مدل از ساده‌ترین رویکرد معادله سنت-ونانت که ادغام معادله پیوستگی بر روی کل جریان سطحی و نفوذ کرده و همچنین جایگزینی معادله دینامیک برای تعیین مشخصات در وسط نیمرخ جریان است، استفاده شده است (کمالی و ابراهیمیان، ۱۳۹۶). این کار باعث تسهیل مدل‌سازی آبیاری سطحی می‌گردد. ورودی‌های این نرم‌افزار شامل هیدروگراف جریان ورودی، فاز پیشروی، شیب کف مزرعه، پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مقطع و عمق جریان در هر ایستگاه در زمان‌های مختلف است.

$$Qt = \bar{A}x(t) + \int_0^x Z(t - t_s) ds \quad (۶)$$

که در آن  $Q$  شدت جریان ورودی،  $\bar{A}$  سطح مقطع جریان،  $x(t)$  فاصله پیشروی در زمان  $t$ ،  $t_s$  زمان رسیدن جریان به محل  $s$  و  $Z$  حجم آب نفوذ یافته در طول مزرعه است.

دست آمد. حجم کل آب نفوذ یافته پیش بینی شده با استفاده از قانون نوزنقه ای (رابطه ۹) تخمین زده شد:

$$V_t = \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{L_i}{2} (Z_i + Z_{i+1}) \right) \quad (9)$$

که در آن  $n$  تعداد ایستگاه ها،  $L_i$  فاصله ایستگاه ها بر حسب متر،  $Z_i$  و  $Z_{i+1}$  به ترتیب نفوذ تجمعی بر حسب مترمکعب بر متر برای ایستگاه  $i$  و  $i+1$  می باشد. خطای نسبی از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RE = \frac{V_s - V_m}{V_m} \times 100 \quad (10)$$

در رابطه فوق؛ RE خطای نسبی،  $V_s$  و  $V_m$  به ترتیب حجم آب اندازه گیری شده و حجم آب شبیه سازی شده می باشد. همچنین به منظور ارزیابی عملکرد و بررسی دقت دو نرم افزار SIRMOD و WinSRFR در پیش بینی زمان های پیشروی و پسروی از شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و برای بررسی دقت شبیه سازی حجم آب نفوذ یافته از شاخص درصد خطای نسبی (RE) استفاده شد (رضاءوردی نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). RMSE بیانگر میانگین تفاوت بین داده های شبیه سازی و اندازه گیری شده بوده و دارای بعد نیز می باشد که در واقع میزان خطای مطلق را نشان می دهد و بیانگر اندازه نسبی خطا نیست. واحد آن به پارامتر مربوط به شبیه سازی وابسته است (Singh, 2006).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (11)$$

در رابطه فوق؛  $O_i$  مقادیر اندازه گیری شده،  $P_i$  مقادیر شبیه سازی شده،  $n$  تعداد مشاهدات و  $\bar{o}$  میانگین مقادیر اندازه گیری شده می باشد.

به  $\alpha$  و  $k$  حساس نبوده اما به  $n$  حساس تر است. هیدروگراف خروجی بیشتر تابعی از  $\alpha$  و  $f_0$  است. زمان پیشروی هم بیشتر به  $\alpha$  و  $k$  حساس است (Walker, 2005).

### داده های مزرعه ای

در این تحقیق از داده های مزرعه ای مربوط به روش های آبیاری جویچه ای معمولی (CFI)، جویچه ای یک درمیان ثابت (FFI) و جویچه ای یک درمیان متغیر (AFI) که در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) در سال ۱۳۸۹ اندازه گیری شدند، استفاده شد. جهت اندازه گیری زمان پیشروی و پسروی در طول جویچه ۸۶ متری، در ابتدا هر ۱۰ متر و در بخش آخر یک مسیر شش متری در فاصله زمانی بین سه تا پنج اندازه گیری شد. رواناب ورودی و خروجی نیز به وسیله فلوم WSC که در ورودی و خروجی جویچه تعبیه شده بود، اندازه گیری و ثبت شد. جدول ۱ مشخصات هندسی جویچه ها را نشان می دهد. همچنین با استفاده از داده های مزرعه ای، ضرایب معادله های نفوذ با استفاده از چهار روش مذکور تخمین زده شده و سپس از این داده ها به همراه ضرایب نفوذ تخمین زده شده به عنوان ورودی نرم افزار SIRMOD و WinSRFR استفاده شد. همچنین جدول ۲ اطلاعات زمان پیشروی و پسروی، زمان قطع جریان، متوسط دبی و حجم آب نفوذ یافته در سه روش آبیاری را نشان می دهد.

### شاخص های ارزیابی مدل ها

جهت شبیه سازی جریان آب با استفاده از نرم افزار SIRMOD و WinSRFR از اطلاعات مزرعه ای به عنوان ورودی نرم افزارها استفاده شد و سپس نتایج نرم افزارها و با اطلاعات مزرعه ای مورد مقایسه قرار گرفت. جهت بررسی دقت روش های برآورد ضرایب نفوذ در پیش بینی کل حجم آب نفوذ یافته مقایسه در مزرعه، شاخص درصدی خطای نسبی (Relative Error) برای هر نرم افزار و با چهار ورودی مختلف محاسبه شد. مجموع حجم آب نفوذ یافته اندازه گیری شده داخل خاک از تفاوت بین حجم آب ورودی و خروجی جویچه به

جدول ۱- مشخصات هندسی جویچه ها در روش های مختلف آبیاری

روش	طول (m)	فاصله جویچه (m)	شیب طولی	شیب عرضی	عرض بالایی (cm)	عرض میانی (cm)	عرض پایینی (cm)	حداکثر عمق (cm)
CFI	۸۶	۰/۷۵	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۱۹	۴۵	۲۵	۱۰	۹
FFI	۸۶	۰/۷۵	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۱۹	۴۵	۲۸/۳	۸/۳	۱۰
AFI	۸۶	۰/۷۵	۰/۰۰۹۳	۰/۰۰۱۹	۴۶/۷	۳۰	۱۰	۱۱/۸

جدول ۲- اطلاعات مزرعه‌ای سه روش آبیاری

روش آبیاری			واحد	پارامتر
AFI	FFI	CFI		
۱۵/۹	۱۴/۹	۱۲/۵	دقیقه	زمان پیشروی در وسط جویچه
۵۰/۵	۴۹/۷	۴۸/۲	دقیقه	زمان پیشروی در انتها جویچه
۳۱۹/۴	۲۵۸/۳	۲۶۰/۴	دقیقه	زمان پسروی
۳۰۳	۲۴۰	۲۴۰	دقیقه	زمان قطع جریان
۰/۳۲۱	۰/۲۶۲	۰/۲۶۲	لیتر بر ثانیه	متوسط دبی جریان
۴/۰۶	۲/۷۵	۲/۵۸	مترمکعب	حجم آب نفوذ یافته

## نتایج و بحث

### تخمین ضرایب نفوذ

مقادیر ضرایب نفوذ تخمین زده شده به وسیله مدل‌های دونقطه‌ای الیوت-واکر، بهینه‌سازی چندسطحی، IPARM و SIPAR-ID در جدول ۳ ارائه گردیده است. مدل SIPAR-ID به دلیل اینکه پارامتر سرعت نفوذ نهایی خاک را برآورد نمی‌کند و در نظر نگرفتن  $f_0$ ، خطای محاسباتی را افزایش می‌دهد. این ضرایب برآورد شده با همین واحدها وارد نرم‌افزار SIRMID می‌شود اما برای وارد کردن ضرایب  $k$  و  $f_0$  به مدل WinSRFR لازم است این ضرایب بر عرض جویچه تقسیم و سپس به ترتیب برحسب  $\frac{mm}{hr^a}$  و  $\frac{mm}{hr}$  بیان شوند.

### حجم آب نفوذ یافته

جدول ۴ میزان خطای نسبی نرم‌افزار SIRMID و WinSRFR در ترکیب با چهار مدل مختلف در پیش‌بینی حجم نفوذ یافته را به ترتیب در روش‌های آبیاری CFI، FFI و AFI نشان می‌دهد. اعداد منفی گزارش شده در جدول ۴ نشان‌دهنده کم برآورد مدل‌ها نسبت به داده‌های مزرعه‌ای می‌باشد. مطابق جدول ۴، کمترین خطای تخمین حجم آب نفوذ یافته با استفاده از نرم‌افزار SIRMID در مدل SIPAR-ID و بیشترین آن در روش بهینه‌سازی چند سطحی در روش CFI به دست آمد. کمترین مقدار RE برای حجم نفوذ یافته با استفاده از ضرایب نفوذ مدل SIPAR-ID و بیشترین آن با استفاده از ضرایب نفوذ مدل بهینه‌سازی چند سطحی به دست آمد. نتایج جدول ۴ نشان داد که کمترین دقت در محاسبه نفوذ یافته در هر دو نرم‌افزار را مدل بهینه‌سازی چندسطحی داشته است. مدل SIPAR-ID بیشترین دقت در محاسبه حجم آب نفوذ یافته در هر دو نرم‌افزار را داشته است.

محققان بسیاری میزان حجم نفوذ شبیه‌سازی شده از نرم‌افزارهای SIRMID و WinSRFR را بررسی کرده‌اند (کولائی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Mousavi and Nasab, 2015). نرم‌افزار SIRMID حجم نفوذ یافته را نسبت به نرم‌افزار WinSRFR کمتر برآورد می‌کند. نرم‌افزار WinSRFR مقدار خطای نسبی برآورد شده کمتری نسبت به نرم‌افزار SIRMID در حجم آب نفوذ یافته دارد، اما در هر دو نرم‌افزار زمانی که از ضرایب نفوذ تخمین زده شده مدل SIPAR-ID استفاده شود، بیشترین خطا حاصل شده اما مدل IPARM، بهینه‌سازی چندسطحی و دونقطه‌ای الیوت-واکر به ترتیب برآورد بهتری داشته‌اند. سیاری و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه خود گزارش کردند که مدل WinSRFR در شرایطی که دبی متغیر می‌باشد، دقت کمتری در برآورد حجم آب نفوذ یافته در طول جویچه دارد اما از آنجایی که دبی ورودی ثابت بوده لذا دقت این نرم‌افزار برابر با SIRMID و یا حتی بهتر از آن می‌باشد. با توجه به جدول ۴ می‌توان بیان کرد؛ از آنجایی که همه مدل‌ها حجم آب نفوذ یافته را کمتر از میزان واقعی برآورد کرده‌اند، لذا عمق نفوذ را هم کمتر پیش‌بینی کرده‌اند. این کم برآورد در صورت استفاده از مدل SIPAR-ID بیشتر قابل مشاهده است اما نوسانات کم عمق نفوذ، قابل توجه است. در صورت استفاده از پارامترهای نفوذ تخمین زده شده از مدل IPARM و بهینه‌سازی چندسطحی، باز هم نرم‌افزار SIRMID دقت کمتری در حجم آب نفوذ یافته در روش FFI داشته است.

نتایج هر دو نرم‌افزار SIRMID و WinSRFR نشان داد که مدل SIPAR-ID حجم آب ورودی در روش AFI را با دقت خوبی شبیه‌سازی کرد (جدول ۴). نتایج نشان داد نرم‌افزار WinSRFR و SIRMID در روش AFI با در نظر گرفتن ضرایب نفوذ از مدل IPARM نسبت به مدل‌های دیگر

حجم آب نفوذ یافته را با دقت بیشتری و مدل SIPAR\_ID با دقت کمتری پیش بینی کرد (جدول ۴).

جدول ۳- تخمین پارامترهای نفوذ با استفاده از روش های مختلف

پارامترهای معادله نفوذ			روش تخمین	روش آبیاری
$f_0$ ( $m^3/min/m$ )	$k$ ( $m^3/min^3/m$ )	$a$ (-)		
۰/۰۰۰۰۶۰	۰/۰۰۱۰	۰/۴۸۵	دونقطه ای الیوت-واکر	CFI
۰/۰۰۰۰۶۳	۰/۰۰۰۸	۰/۵۵۹	بهینه سازی چندسطحی	
۰/۰۰۰۰۶۰	۰/۰۰۱۱	۰/۴۹۰	IPARM	
-	۰/۰۰۱۳	۰/۴۹۲	SIPAR-ID	
۰/۰۰۰۰۸۵	۰/۰۰۱۶۸	۰/۳۴۹	دونقطه ای الیوت-واکر	FFI
۰/۰۰۰۰۳۹	۰/۰۰۰۶۸	۰/۶۴۰	بهینه سازی چندسطحی	
۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۰۰۱۳۴	۰/۴۰۴	IPARM	
-	۰/۰۰۱۵۱	۰/۴۶۲	SIPAR-ID	
۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۰۰۲۷۴	۰/۳۰۳	دونقطه ای الیوت-واکر	AFI
۰/۰۰۰۰۷۵	۰/۰۰۱۳۹	۰/۴۷۸	بهینه سازی چندسطحی	
۰/۰۰۰۱۳۶	۰/۰۰۳۷۰	۰/۱۱۴	IPARM	
-	۰/۰۰۲۶۵	۰/۳۶۸	SIPAR-ID	

جدول ۴- درصد خطای نسبی نرم افزار SIRMID و WinSRFR در ترکیب با چهار مدل مختلف در پیش بینی حجم آب نفوذ یافته

WinSRFR				SIRMID				روش آبیاری	پارامتر
دونقطه ای الیوت-واکر	بهینه سازی چندسطحی	IPARM	SIPAR-ID	دونقطه ای الیوت-واکر	بهینه سازی چندسطحی	IPARM	SIPAR-ID		
۱۷/۸۴	۶۲/۶۴	۴۶/۴۰	-۱۱/۱۰	۳۳/۴۶	۴۰/۳۸	۳۲/۰۳	-۱۵/۴۶	CFI	حجم آب نفوذ یافته ( $m^3$ )
-۱۳/۴۴	-۱۱/۰۶	-۱۰/۷۳	-۴۵/۸۸	-۲۳/۶۱	-۱۸/۴۲	-۱۳/۸۱	-۴۸/۳۴	FFI	حجم آب نفوذ یافته ( $m^3$ )
۲۰/۸۵	۱۱/۴۲	-۱/۳۵	۵۱/۳۴	۲۰/۸۵	۸/۲۷	۱/۲۳	۵۸/۵۲	AFI	حجم آب نفوذ یافته ( $m^3$ )

### زمان های پیشروی و پسروی

جدول ۵، مقادیر جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) زمان پیشروی و پسروی حاصل از چهار مدل با استفاده از نرم افزارهای SIRMID و WinSRFR را نشان می دهد. بر طبق این جدول بیشترین دقت در تخمین زمان پیشروی در نرم افزارهای SIRMID و WinSRFR، به ترتیب با مدل های دونقطه ای الیوت-واکر و بهینه سازی چند سطحی و کمترین دقت را مدل SIPAR-ID را در روش CFI داشته است. همچنین نتایج نشان می دهد که در پیش بینی زمان پسروی با استفاده از نرم افزارهای SIRMID و WinSRFR، مدل SIPAR-ID و بهینه سازی چند سطحی به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را داشته اند.

همه مدل های هر دو نرم افزار SIRMID و WinSRFR زمان پیشروی را بیش از مقدار واقعی در روش FFI برآورد می کنند. مدل SIPAR-ID در هر دو نرم افزار SIRMID و WinSRFR عملکرد خوبی در برآورد زمان های پیشروی و پسروی داشت. نکته قابل توجه اینکه زمانی که از ضرایب نفوذ برآورد شده مدل IPARM برای پیش بینی زمان پیشروی و پسروی استفاده شود (در هر دو نرم افزار)، کمترین دقت بین این چهار مدل را خواهد داشت اما مقدار عددی آن در محدوده مجاز تحقیقات انجام شده قبلی است. در مجموع استفاده از مدل SIPAR-ID و نرم افزار WinSRFR بیشترین دقت را در پیش بینی زمان پیشروی و استفاده از روش های بهینه سازی چند سطحی و دونقطه ای الیوت-واکر و نرم افزار WinSRFR بیشترین دقت را در پیش بینی زمان پسروی در روش FFI داشته است. مقدار تغییرات

مدل‌های مختلف برآورد نفوذ از ۲/۵-۳/۵ دقیقه در هر دو نرم‌افزار بوده و این مقادیر قابل قبول می‌باشد.

جدول ۵- ریشه میانگین مربعات خطا (برحسب دقیقه) نرم‌افزار SIRMOD و WinSRFR در ترکیب با چهار مدل مختلف در پیش‌بینی زمان

پیشروی و پسروی									
WinSRFR				SIRMOD				پارامتر	روش
دو نقطه‌ای	بهینه‌سازی	IPARM	SIPAR-ID	دو نقطه‌ای	بهینه‌سازی	IPARM	SIPAR-ID		
الیوت-واکر	چندسطحی			الیوت-واکر	چندسطحی				
۱/۹	۱/۶۶	۲/۲۷	۲/۶۲	۱/۸۱	۲/۱۹	۱/۸۵	۲/۸۷	زمان پیشروی	CFI
۳/۶۱	۴/۰۹	۳/۶۸	۱/۹۹	۴/۵۲	۴/۷۱	۴/۴۴	۲/۶۷	زمان پسروی	
۳/۵۳	۳/۶۹	۲/۵۶	۲/۴۱	۲/۵۸	۲/۶۶	۲/۹۵	۲/۴۵	زمان پیشروی	FFI
۱/۶۴	۱/۶۴	۲/۰۲	۲/۷۸	۲/۱۶	۲/۱۴	۲/۶۹	۲/۰۷	زمان پسروی	
۱/۹۲	۱/۲۴	۲/۴۶	۴/۲۹	۳/۰۲	۲/۹۴	۱/۶۱	۳/۱۱	زمان پیشروی	AFI
۲/۵۸	۱/۷۳	۵/۲	۸/۲	۴/۲۵	۳/۷۶	۶/۶۹	۸/۰۷	زمان پسروی	

این نتایج مطابق با نتایج تحقیق رضا وردی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) می‌باشد. نتایج نشان داد با استفاده از نرم‌افزار SIRMOD و WinSRFR در روش AFI، با در نظر گرفتن ضرایب نفوذ از مدل SIPAR\_ID نسبت به مدل‌های دیگر زمان پیشروی و پسروی را با دقت کمتری پیش‌بینی شد (جدول ۶). در نرم‌افزار WinSRFR با در نظر گرفتن ضرایب نفوذ از روش بهینه‌سازی چند سطحی نسبت به روش‌های دیگر زمان پیشروی و پسروی را بهتر پیش‌بینی کرد. همچنین نرم‌افزار SIRMOD با در نظر گرفتن ضرایب نفوذ از روش IPARM و بهینه‌سازی چند سطحی به ترتیب زمان‌های پیشروی و پسروی را با دقت بیشتری پیش‌بینی کرد. شایان‌ذکر است که مدل SIPAR-ID دارای خطای بالایی بوده و عملکرد مناسبی را ارائه نکرد که با نتایج کمالی

و ابراهیمیان (۱۳۹۶) همخوانی دارد. همچنین بیک‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) به این نتیجه رسیدند که روش بهینه‌سازی چند سطحی عملکرد بهتری نسبت به روش دو نقطه‌ای الیوت-واکر داشته و موجب کاهش خطای شبیه‌سازی می‌شود که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. مدل‌ها و روش‌هایی که علاوه بر داده‌های مرحله پیشروی از داده‌های سایر مراحل آبیاری سطحی برای تخمین پارامترهای نفوذ استفاده می‌کنند (مانند IPARM و بهینه‌سازی چند سطحی)، دارای دقت بالایی بوده و می‌توان از آن‌ها برای طراحی و ارزیابی روش‌های آبیاری سطحی استفاده کرد (کمالی و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج نشان داد که مدل IPARM از دقت بالایی برخوردار است. در جدول ۶ بهترین روش برآورد نفوذ در سه روش آبیاری و دو نرم‌افزار مورد استفاده در تحقیق به‌طور خلاصه ارائه شده است.

جدول ۶- بهترین روش برآورد نفوذ در سه روش آبیاری و دو نرم‌افزار مورد مطالعه

روش آبیاری	نرم‌افزار	زمان پیشروی	زمان پسروی	حجم آب نفوذیافته
CFI	SIRMOD	دو نقطه‌ای الیوت-واکر	SIPAR-ID	SIPAR-ID
	WinSRFR	بهینه‌سازی چندسطحی	SIPAR-ID	SIPAR-ID
FFI	SIRMOD	SIPAR-ID	SIPAR-ID	IPARM
	WinSRFR	SIPAR-ID	بهینه‌سازی چندسطحی و دو نقطه‌ای الیوت-واکر	IPARM
AFI	SIRMOD	IPARM	بهینه‌سازی چندسطحی	IPARM
	WinSRFR	بهینه‌سازی چندسطحی	بهینه‌سازی چندسطحی	IPARM

در بررسی اولیه، بعد از ورودی پارامترهای نفوذ حاصل شده از مدل‌ها به نرم‌افزار SIRMOD و بررسی برآورد حجم آب نفوذ یافته

مشخص گردید که مدل IPARM و بهینه‌سازی چند سطحی دقت بسیار خوبی در برآورد ضرایب نفوذ آبیاری جویچه‌ای در روش AFI



جوپچه عملکرد ضعیف و با نوسانات زیاد دارد. علاوه بر این، روش دونقطه ای الیوت-واکر نیز با متوسط خطای نسبی کم، عملکرد قابل استفاده شده از مدل IPARM در هر دو نرم افزار SIRMID و WinSRFR در روش AFI، حجم آب نفوذ یافته را با دقت خوبی نسبت به سایر مدل ها پیش بینی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که دقت نرم افزارهای شبیه سازی آبیاری سطحی به شدت وابسته به دقت تخمین ضرایب معادله نفوذ است؛ بنابراین در کاربرد این نرم افزارها در طراحی و ارزیابی سامانه های آبیاری سطحی، شناسایی بهترین روش تخمین ضرایب نفوذ و شرایط مختلف مزرعه ای از اهمیت زیادی برخوردار است.

## مراجع

- ابراهیمیان، ح. و بتوخته، ف. ۱۳۹۶. گزارش: فناوری های مورد نیاز برای ارتقای بهره وری آب آبیاری. کمیسیون آب، محیط زیست و اقتصاد سبز، دبیرخانه گروه های تخصصی اتاق ایران.
- ابراهیمیان، ح.، قنبریان علویجه، ب.، عباسی، ف. و هورفر، ع. ۱۳۸۹. ارائه روش دونقطه ای جدید به منظور برآورد پارامترهای نفوذ پذیری در آبیاری جوپچه ای و نواری و مقایسه آن با سایر روش ها. نشریه آب و خاک، ۲۴ (۴): ۶۹۸-۶۹۰.
- بیک زاده، ا.، ضیایی، ع. ن.، داوری، ک. و انصاری، ح. ۱۳۹۳. تعیین ضرایب نفوذ و زبری بهینه در آبیاری جوپچه ای با استفاده از مدل هیدرودینامیک کامل. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳ (۸): ۵۵۵-۵۴۹.
- رضا وردی نژاد، و. ر.، احمدی، ح.، همتی، م. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۵. ارزیابی و مقایسه روش های مختلف تخمین پارامترهای نفوذ در سیستم های مختلف آبیاری جوپچه ای و رژیم های مختلف جریان ورودی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۰ (۷۲): ۱۷۶-۱۶۱.
- رضا وردی نژاد، و. و نورجو، ا. ۱۳۹۲. بهینه سازی عملکرد آبیاری جوپچه ای با استفاده از مدل WinSRFR در شرایط تحکیم بستر کاشت چغندر قند. نشریه آب و خاک، ۶ (۲۷): ۱۲۹۳-۱۲۸۱.
- زارع چنیجانی، ن. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل های SIRMID و WinSRFR3.1 در تحلیل، طراحی و شبیه سازی هیدرولیکی سیستم های آبیاری سطحی. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، ۱۰۹ صفحه.

دارد. کمالی و همکاران (۱۳۹۴) هم در آبیاری جوپچه ای به نتایج مشابهی دست یافته اند. مدل SIPAR-ID در برآورد ضرایب نفوذ در قبولی در تخمین حجم نفوذ یافته دارد که با نتیجه کمالی و ابراهیمیان (۱۳۹۶) تطابق دارد.

## رهیافت ترویجی

در این پژوهش، دقت چهار مدل تخمین ضرایب نفوذ (SIPAR، IPARM، بهینه سازی چند سطحی و دونقطه ای الیوت-واکر) با نرم افزارهای SIRMID و WinSRFR در شبیه سازی جریان سطحی آب (زمان های پیشروی، پسروی و حجم نفوذ یافته) در آبیاری جوپچه ای بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل SIPAR بیشترین دقت در برآورد حجم آب نفوذ یافته در هر دو نرم افزار را در روش CFI داشت. همچنین نتایج نشان داد که در نرم افزار SIRMID، روش دونقطه ای الیوت-واکر و SIPAR-ID به ترتیب بیشترین دقت را در پیش بینی زمان های پیشروی و پسروی داشتند. در نرم افزار WinSRFR، روش بهینه سازی چند سطحی بیشترین دقت در محاسبه زمان پیشروی و مدل SIPAR بیشترین دقت در محاسبه زمان پسروی را داشتند. بیشترین دقت در محاسبه حجم نفوذ یافته در نرم افزار SIRMID با استفاده از مدل SIPAR-ID و در نرم افزار WinSRFR با استفاده از مدل SIPAR-ID تخمین به دست آمد. همه روش های برآورد نفوذ هر دو نرم افزار (SIRMID و WinSRFR) در روش FFI، زمان پیشروی را بیش از مقدار واقعی برآورد کردند اما دقت نرم افزار WinSRFR بهتر بود. نرم افزار SIRMID عمق نفوذ یافته را نسبت به نرم افزار WinSRFR کمتر برآورد می کند. ضمن اینکه در صورت استفاده از مدل IPARM و روش بهینه سازی چند سطحی، هر دو نرم افزار SIRMID و WinSRFR بهترین شبیه سازی را داشته اند. بهترین روش های برآورد پارامترهای نفوذ به ترتیب: مدل IPARM، روش بهینه سازی چند سطحی، روش دونقطه ای الیوت-واکر و مدل SIPAR-ID تشخیص داده شدند. نتایج نشان داد در روش AFI، ضرایب نفوذ استفاده شده از مدل IPARM در نرم افزار SIRMID و ضرایب نفوذ از روش بهینه سازی چندسطحی در نرم افزار WinSRFR زمان پیشروی را نسبت به سایر مدل ها با دقت بالاتری پیش بینی کرد. همچنین نتایج نشان داد در روش AFI، ضرایب نفوذ استفاده شده از روش بهینه سازی چند سطحی در نرم افزار WinSRFR و SIRMID زمان پسروی را با دقت بیشتری نسبت به سایر مدل ها پیش بینی کرد. ضرایب نفوذ

- Ebrahimian, H., Liaghat A., Parsinejad M., Playan E., Abbasi F., Navabian, M., 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.
- Elliott, R. L., and Walker, W. R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Transactions of the ASAE*, 25(2): 396-400.
- Gillies, M. H. and Smith, R. J. 2005. Infiltration parameters from surface irrigation advance and run-off data. *Irrigation Science*, 24(1): 25-35.
- Gillies, M. H. and Smith, R. J. 2015. SISCO: surface irrigation simulation, calibration and optimization. *Irrigation science*, 33(5): 339-355.
- Holzapfel, E. A., Jara, J., Zuniga, C., Marino, M. A., Paredes, J., and Billib, M. 2004. Infiltration parameters for furrow irrigation. *Agricultural Water Management*, 68(1): 19-32.
- Kay, M. 1990. Recent developments for improving water management in surface and overhead irrigation. *Agricultural Water Management*, 17(1-3): 7-23.
- 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)*.
- Moravejalahkami, B., Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M., and Abbasi, F. 2009. Furrow infiltration and roughness prediction for different furrow inflow hydrographs using a zero-inertia model with a multilevel calibration approach. *Biosystems engineering*, 103(3): 374-381.
- Mousavi, S. M. S. and Nasab, B. 2015. Application of Two SIRM (SM) and SRFR (SF) Software Simulation of Various Stages of Border Irrigation. *Report and Opinion*, 7(7).
- Rodriguez, J. A., and Martos, J. C. 2010. SIPAR\_ID: freeware for surface irrigation parameter identification. *Environmental Modelling & Software*, 25(11): 1487-1488.
- Savage, M.J. 1993. Statistical aspects of model validation. Presented at a workshop on the field water balance in the modeling of cropping systems, University of Pretoria, South Africa.
- Singh, R., Helmers, M. J., and Qi, Z. 2006. Calibration and validation of DRAINMOD to design subsurface drainage systems for Iowa's tile landscapes. *Agricultural Water Management*, 85(3): 221-232.
- Smith, R. J., & Uddin, M. J. 2020. Selection of flow rate and irrigation duration for high performance bay irrigation. *Agricultural Water Management*, 228: 105850.
- سیاری، س.، رحیم‌پور، م.، و ذونعمت کرمانی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی سیستم آبیاری جویچه‌ای با مقادیر مختلف دبی ورودی. مدیریت آب و آبیاری. ۵ (۲): ۱۹۱-۲۰۲.
- عباسی، ف. ۱۳۹۱. اصول جریان در آبیاری سطحی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، جلد اول، تهران، ۲۳۲ صفحه.
- کمالی، پ.، ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۶. مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف برآورد معکوس ضرایب معادله نفوذ در شرایط کشت داخل جویچه. نشریه تحقیقات آب‌و خاک ایران، ۴۸ (۱): ۳۹-۴۸.
- کمالی، پ.، ابراهیمیان، ح. و رضا وردی نژاد، و. ۱۳۹۴. ارزیابی و مقایسه روش بهینه‌سازی چندسطحی و مدل IPARM در تخمین پارامترهای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای. مدیریت آب و آبیاری، ۱ (۵): ۴۳-۵۴.
- کولائی‌ان، ع.، غلامی سفیدکوهی، م. ع.، ضیاءتبار احمدی، م. خ. و داداش زاده، ح. ۱۳۹۴. مدل‌سازی و تحلیل عددی جریان تحت شرایط آبیاری جویچه‌ای. نشریه آبیاری و زهکشی، ۴ (۹): ۶۷۷-۶۶۷.
- مجدزاده، ب.، قبادی نیا، م.، سهرابی، ت. و عباسی، ف. ۱۳۸۷. ارزیابی دو مدل ریاضی SIRM و SRFR برای بررسی عملکرد آبیاری پیوسته و موجی. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۲ خرداد، تهران، ۳۳۵-۳۴۴.
- معروف پور، ع.، سیدزاده، ا. و بهزادی نسب، م. ۱۳۹۶. بررسی دقت روش‌های غیرنقطه‌ای اندازه‌گیری نفوذ در طراحی سامانه آبیاری جویچه‌ای. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، ۲۴ (۲): ۲۷۱-۲۵۷.
- مکاری قهرودی، ا.، لیاقت، ع. و نحوی نیا، م. ج. ۱۳۹۲. کاربرد مدل WinSRFR در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱ (۷): ۶۷-۵۹.
- Bautista, E., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., and Schlegel, J. 2009. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. *Agricultural Water Management*, 96(7): 1146-1154.
- Clemmens, A. J. and Strelkoff, T. 1999. SRFR Version 4.06. U.S. Water Conservation Laboratory. Agricultural Research Service, Phoenix.
- 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. and Liaghat, A. 2011. Field evaluation of various mathematical models for furrow and border irrigation systems. *Journal of Soil and Water Research*, 6(2): 91-101.

- kinematic wave. *Journal of Agricultural Science*, 4(12): 68.
- Documentation*. Biological and Irrigation Engineering Department, Utah State University.
- Walker, W. R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 131(2): 129-136.
- Walker, W. R. and Skogerboe, G. V. 1987. Surface irrigation. *Theory and practice*. Prentice-Hall.
- Valipour, M. 2012. Comparison of surface irrigation simulation models: full hydrodynamic, zero inertia,
- Walker, W. R. 1989. *Surface Irrigation Simulation software*. Irrigation software Engineering Division. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University.
- Walker, W. R. 1993. *SIRMOD, Surface irrigation simulation software. User Guide and Technical*

## Comparison of Two SIRMOD and WinSRFR Software with Different Permeability Estimation Methods for Furrow Irrigation Design and Management

M. Hooshmand<sup>1</sup>, O. Raja<sup>1</sup>, M. Pourgholam-Amiji<sup>1\*</sup> and H. Ebrahimian<sup>2</sup>

### Abstract

In this research, to evaluate the Zero inertia model in SIRMOD and WinSRFR software, data from the advance time, recession time and runoff volume were obtained from conventional furrow irrigation (CFI), fixed alternative furrow irrigation (FFI) and alternate furrow irrigation (AFI). The simulation results were used with the help of the relative error index (RE) for the infiltrated water volume and the root means square error (RMSE) index for prediction of advance and recession time. To determine soil permeability coefficients were used of the model SIPAR-ID, Multi-level optimization, Two-point method of Elliott-Walker and IPARM. The results of the CFI method in SIRMOD software, the Elliott-Walker two-point method with RMSE equal to 1.81 and in the WinSRFR software, the multi-level optimization model with RMSE equal to 1.66. The results had the highest accuracy in predicting advance times. The simulation of the advance and recession time of the FFI method indicated that the best value of the RMSE index for using the SIPAR-ID model in SIRMOD and WinSRFR software was 2.42 and 2.41 minutes, respectively. The results showed that in the AFI method, using the IPARM model in SIRMOD software and the multi-level optimization model with WinSRFR software, the best accuracy was achieved with RMSE 1.61 and 1.24 min, respectively, at advance times, respectively. As a general result, it can be stated that according to the similar prediction of two SIRMOD and WinSRFR software, it is recommended to simulate, design and evaluate irrigation systems in the case of accurate estimation of influence coefficients.

**Keywords:** Furrow Irrigation, Hydraulic, Kinematic Wave, Infiltration Parameters, SIRMOD, WinSRFR.

<sup>1</sup> Ph.D Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Campus of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (\*Corresponding Author, Mpourgholam6@ut.ac.ir)

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation, Campus of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: 6 January 2020

Accepted: 14 February 2020