

ارزیابی روش‌های مستقیم و مدل‌های کامپیوتری در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس در مزارع نیشکر

رضا مزارعی^{۱*} - عبدعلی ناصری^۲ - امیر سلطانی محمدی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۱

چکیده

یکی از مهم‌ترین پارامترها در طراحی یک سیستم آبیاری، تعیین پارامتر نفوذ است که می‌تواند منجر به افزایش عملکرد یک سیستم آبیاری شود. در این تحقیق، پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس با دو دسته از روش‌های مختلف از جمله روش مستقیم (روش‌های دونقطه‌ای الیوت-واکر و ورودی-خروجی) و مدل‌های کامپیوتری (مدل کامپیوتری SIPAR_ID و IPARM) تعیین گردید و با نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. مطالعات مزرعه‌ای به‌منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، در مزارع تحت کشت نیشکر سلمان فارسی در تابستان و پائیز سال ۱۳۹۶ در نه جویچه به طول ۱۰۰ و عرض ۱/۸۳ متر و شیب ۰/۰۴ درصد تحت سه دبی اسمی ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر ثانیه در سه نوبت آبیاری صورت گرفت. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی دقت تخمین پارامترهای نفوذ از سه شاخص حجم آب نفوذ یافته به منطقه ریشه، زمان پیشروی و حجم رواناب استفاده گردید. جهت شبیه‌سازی شاخص‌های ارزیابی در هر روش، از نرم‌افزار WinSRFR استفاده گردید. مطابق نتایج این تحقیق، روش مستقیم دونقطه‌ای الیوت-واکر در تخمین زمان پیشروی با میانگین RMSE، MAE و RE به ترتیب ۱۰/۵۲، ۱۴/۹۱ و ۱۰/۱ درصد، حجم آب نفوذ یافته به ترتیب با میانگین ۹/۶، ۷/۳۶ و ۷/۸ درصد، حجم رواناب خروجی به ترتیب با میانگین ۸/۸، ۸/۷ و ۱/۲ درصد، از عملکرد بسیار قابل قبولی برخوردار بود. همچنین دیگر روش مستقیم (روش ورودی-خروجی) به ترتیب با میانگین ۱۱/۴ و ۶/۸ درصد برای حجم آب نفوذ یافته و ۱/۶ و ۰/۳ درصد برای حجم رواناب مقدار شاخص‌های آماری RMSE و RE را تخمین زد که نشان از دقت بالای این روش در تخمین این دو شاخص عملکرد بود، هرچند که این روش با میانگین ۲۵/۱۱ و ۲۷/۲ درصد توانایی شبیه‌سازی زمان پیشروی را با دقت مناسب نداشت. از سوی دیگر نتایج مدل‌های کامپیوتری نشان داد که مدل IPARM با میانگین MAE و RE برابر با ۲۳/۳۸، ۱۵/۵ درصد زمان پیشروی، ۲۰/۰۲ و ۲۶/۷ درصد حجم آب نفوذ یافته و ۱۱/۸۱ و ۱/۸ درصد حجم رواناب را تخمین زد، که در مقایسه مدل SIPAR_ID از عملکرد بهتری برخوردار بود. در حالت کلی هرچند که مدل‌های کامپیوتری در تخمین پارامترهای نفوذ از عملکرد قابل قبولی برخوردار بودند اما روش‌های مستقیم به دلیل استفاده از داده‌های ورودی بیشتر و استفاده از داده‌های تمامی مراحل آبیاری از عملکرد بهتری برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: پارامتر نفوذ، روش دونقطه‌ای، روش ورودی-خروجی، IPARM، SIPAR_ID

مقدمه

بالایی برخوردار است. نفوذ یکی از پارامترهای مهم و بسیار تأثیرگذار در یک سیستم آبیاری سطحی از جمله سیستم آبیاری جویچه‌ای است (۱۵). به‌منظور افزایش عملکرد، بهینه‌سازی مصرف آب و طراحی مناسب یک سیستم آبیاری سطحی، شناخت و بررسی پارامتر نفوذ در خاک امری ضروری است (۸). سرعت وارد شدن آب در خاک یا به‌عبارتی دیگر سرعت نفوذ آب در خاک از نظر آبیاری اهمیت زیادی دارد، زیرا تعیین‌کننده زمان تداوم آبیاری برای ذخیره کردن مقدار مشخصی آب در داخل خاک است. پارامتر نفوذ علاوه بر تعیین مقدار آب وارد شده به داخل خاک، روی جبهه پیشروی و پسروی آب در سطح زمین نیز تأثیرگذار است (۱۴). روش‌های مختلفی برای برآورد ویژگی‌های نفوذ آب در خاک وجود دارد. مهم‌ترین و جدیدترین

امروزه بیش از ۹۰ درصد از اراضی فاریاب در سطح دنیا به روش سطحی آبیاری می‌شوند. توجه به مدیریت انواع روش‌های آبیاری از جمله آبیاری سطحی و اصلاح و بهبود عملکرد آن‌ها در استفاده بهینه از منابع آب و افزایش بهره‌وری مصرف آب در این روش‌ها از اهمیت

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، استاد و دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: reza.mazarei1372@gmail.com
DOI: 10.22067/jsw.v0i0.74330

نهایت توانایی روش‌های مختلف در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس در مزارع تحت کشت نیشکر تحت سه دبی اسمی ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر ثانیه در جویچه‌هایی با عرض بالا و شیب کم مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس یکی از پرکاربردترین معادلات تخمین میزان نفوذ در آبیاری سطحی است که برای طیف وسیعی از خاک‌ها مناسب است (۶).

$$z = kt^\alpha + f_0 t \quad (1)$$

که در آن Z عمق نفوذ تجمعی برحسب $(m^3 m^{-1})$ ، t زمان برحسب دقیقه، f_0 سرعت نفوذ نهایی برحسب $(m^3 m^{-1} min^{-1})$ ، K ضریب معادله نفوذ برحسب $(m^3 m^{-1} min^a)$ و α بدون بعد می‌باشند.

روش دونقطه‌ای: این روش نخستین بار توسط الیوت و واکر (۴) برای تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس در مزارع شیب‌دار پیشنهاد گردید. اساس آن معادله پیوستگی و رابطه‌نمایی مرحله پیشروی است. در این روش، آب نفوذ یافته به جویچه در حالت طبیعی جریان آب در جویچه، با در نظر گرفتن زبری، شکل هندسی و محیط خیس جویچه اندازه‌گیری می‌گردد و معادله نفوذ حاصله بیانگر متوسط خصوصیات نفوذپذیری جویچه خواهد بود. داده‌های موردنیاز این روش منحنی پیشروی آب در جویچه، دبی ورودی و خروجی و هم‌چنین سطح مقطع هندسی جویچه می‌باشند. در این روش در ابتدا با استفاده از روش ورودی-خروجی مقدار فرصت نفوذ نهایی با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌گردد:

$$f_0 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \quad (2)$$

که در آن Q_{in} و Q_{out} دبی‌های ورودی و خروجی برحسب متر مکعب بر دقیقه و L طول جویچه مورد آزمایش برحسب متر، می‌باشند. سپس با توجه محیط، مساحت سطح مقطع جویچه، عمق آب اندازه‌گیری شده در جویچه و با استفاده از رگرسیون توانی می‌توان فاکتورهای سطح $(\gamma_1, \gamma_2, \sigma_1, \sigma_2)$ را تعیین نمود. پارامترهای k و a با استفاده از موقعیت و زمان مشخص از دونقطه از زمان پیشروی و با استفاده از روابط (۳) و (۴) تعیین می‌شود:

نقطه انتهایی زمین:

$$Q_0 t_L = \sigma_y A_0 L + \sigma_z K t_L^a L + \frac{f_0 t_L L}{(1+r)} \quad (3)$$

نقطه وسط زمین:

$$Q_0 t_{0.5L} = \frac{\sigma_y A_0 L}{2} + \frac{\sigma_z K t_{0.5L}^a L}{2} + \frac{f_0 t_{0.5L} L}{2(1+r)} \quad (4)$$

روش‌های تخمین پارامترهای نفوذ، استفاده از داده‌های پیشروی است که شرایط دینامیکی نفوذ آب در خاک را نیز در نظر می‌گیرند (۱۱). روش‌های دونقطه‌ای الیوت-واکر، روش ورودی-خروجی، استفاده از مدل‌های IPARM و SIPAR_ID از جمله این روش‌ها می‌باشند که به‌منظور تعیین پارامترهای نفوذ از روش معکوس استفاده می‌کنند.

کمالی و ابراهیمیان (۸) از چهار روش دونقطه‌ای الیوت-واکر، بهینه‌سازی چند سطحی، SIPAR_ID و IPARM به‌منظور تعیین پارامترهای نفوذ در شرایط کشت گیاه ذرت درون جویچه‌ای استفاده نمودند. نتایج نشان داد که دو روش بهینه‌سازی چند سطحی و IPARM با متوسط خطای نسبی کمتر از دو درصد دارای بهترین عملکرد هستند. ابراهیمیان (۳) نیز در تحقیق خود از دو مدل IPARM و INFILT و روش دونقطه‌ای الیوت و واکر برای برآورد پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس در آبیاری جویچه‌ای معمولی، یک‌درمیان ثابت و یک‌درمیان متغیر استفاده نمود که نتایج نشان از دقت بالاتر مدل IPARM در مقایسه با دو روش دیگر داشت. همچنین ابراهیمیان و همکاران (۲) در تحقیق خود نشان دادند که روش دونقطه‌ای الیوت-واکر در تخمین پارامترهای نفوذ در دو روش آبیاری جویچه‌ای و نواری دارای دقت قابل قبولی است. مروج الاحکامی و همکاران (۹) نیز در تحقیق خود نشان دادند که روش بهینه‌سازی چند سطحی در مقایسه با روش دونقطه‌ای در تخمین ضرایب معادله نفوذ دارای دقت بالاتری است. همچنین مروج الاحکامی و همکاران (۱۰) به‌منظور برآورد پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ از دو روش موازنه حجم و بهینه‌سازی چند سطحی استفاده کردند که نتایج نشان از دقت بالاتر روش بهینه‌سازی چند سطحی در مقایسه با روش موازنه حجم داشت.

گیاه نیشکر به دلیل تولید شکر و همچنین موارد جانبی از جمله تولید الکل، کاغذ، علوفه دامی و ... از جمله مهمترین و پر درآمدترین محصولات کشاورزی تحت کشت در خوزستان می‌باشد. همچنین با توجه به شرایط خاص و طراحی خاص مزارع نیشکر کشت و صنعت خوزستان از جمله طول و عرض بالا و شیب بسیار کم در جویچه‌های مورد کشت، تعیین پارامترهای نفوذ از جمله مهمترین و مشکلترین پارامترهای طراحی می‌باشد. در این تحقیق به‌منظور برآورد دقیق پارامترهای نفوذ، دو دسته از روش‌های پرکاربرد در تخمین پارامترهای نفوذ کوستیاکف-لوئیس از جمله روش مستقیم (شامل روش‌های دونقطه‌ای الیوت-واکر و ورودی-خروجی) و مدل‌های کامپیوتری (از جمله IPARM و SIPAR_ID) ارزیابی شد. همچنین به منظور استفاده از مدل SIPAR_ID در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس استفاده از ضریب تعدیل مورد بررسی قرار گرفت. کارایی این روش‌ها در برآورد سه شاخص زمان پیشروی، حجم آب نفوذ یافته در سطح جویچه و حجم رواناب خروجی بررسی گردید و با مقادیر متناظر خود در شرایط مزرعه‌ای مقایسه گردید. در

گردید. آزمایش‌های صحرایی در مزرعه R5-22 واقع در زمین‌های کشت و صنعت سلمان فارسی واقع در جنوب شرقی اهواز در سه نوبت آبیاری متفاوت در ۲۴ شهریور، ۱۰ مهر و ۱۰ آبان ۱۳۹۶ در زمین تحت کشت گیاه نیشکر، انجام شد. داده‌های مورد نیاز به منظور تعیین معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس در جویچه‌هایی به طول ۱۰۰ متر، عرض ۱/۸۳ متر و شیب ۰/۰۴ درصد با شرایط مرزی انتها باز، در سه تکرار و تحت سه دبی اسمی ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر ثانیه برداشت شد. در این تحقیق تعداد ۱۸ جویچه در نظر گرفته شد که نه جویچه آن برای آزمایش و نه جویچه دیگر به عنوان جویچه‌های حائل مورد استفاده قرار گرفت که در نوبت اول آبیاری به دلیل عدم تسطیح مناسب سه جویچه انتهایی حذف گردید. ضمن تعیین هیدروگراف ورودی و خروجی توسط فلوم W.S.C تپ دو، زمان پیشروی و پسروی ایستگاه‌هایی به فواصل ۱۰ متری اندازه‌گیری شد. در این تحقیق به منظور تعیین ضریب زبری مانینگ از مدل کامپیوتری SIPAR_ID استفاده گردید (۱۳). همچنین با استفاده از نرم‌افزار WinSRFR زمان پیشروی، رواناب خروجی و حجم آب نفوذ یافته در سطح جویچه با استفاده از پارامترهای نفوذ تخمین زده شده توسط روش‌های مختلف، شبیه سازی و با مقادیر مزرعه ای مقایسه گردید. داده‌های اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای برای سه نوبت آبیاری در جدول (۱) ارائه گردیده است.

تحلیل آماری

به منظور مقایسه روش‌های مختلف تعیین معادله نفوذ با یکدیگر و بررسی میزان دقت مدل‌ها در برآورد پارامترهای نفوذ، میزان حجم آب نفوذ یافته تخمین زده شده توسط هر مدل با مقدار نفوذ اندازه‌گیری شده در مزرعه مورد مقایسه قرار گرفت. به منظور تعیین حجم آب نفوذ یافته در سطح زمین از روش ذوزنقه‌ای استفاده گردید. در نهایت به منظور مقایسه حجم آب نفوذی پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف در مقایسه با حجم آب نفوذ یافته مزرعه‌ای از شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2)، خطای نسبی (RE) و ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) استفاده گردید:

$$RE = \frac{P - O}{O} \times 100 \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (O - P)^2}{N}} \times \frac{100}{O} \quad (10)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum \frac{|O - P|}{O} \quad (11)$$

که در آن، P مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل، O مقدار مزرعه‌ای و N تعداد داده‌های مورد استفاده می‌باشند.

$$\alpha = \frac{\log(V_L / V_{0.5L})}{\log(t_L / t_{0.5L})} \quad (5)$$

$$k = \frac{V_L}{\sigma_y t_L^\alpha} \quad (6)$$

که در آن‌ها:

$$V_L = \frac{Q_0 t_L}{L} - \sigma_y A_0 \frac{f t_L}{1+r} \quad (7)$$

$$V_{0.5L} = \frac{Q_0 t_{0.5L}}{0.5L} - \sigma_y A_0 \frac{f t_{0.5L}}{1+r} \quad (8)$$

Q_0 جریان ورودی برحسب مترمکعب بر دقیقه، فاکتور سطحی شکل (حدود ۰/۷۷)، t_L و $t_{0.5L}$ و V_L و $V_{0.5L}$ به ترتیب زمان پیشروی برحسب دقیقه و حجم آب نفوذ کرده برحسب متر مکعب در فاصله L و L_0 از ابتدای زمین برحسب متر می‌باشند.

روش ورودی-خروجی: در این روش تمام طول جویچه

به عنوان یک نفوذسنج در نظر گرفته می‌شود و فرض می‌شود که در اواخر آبیاری خاک به سرعت نفوذ پایه رسیده است. در این روش دبی ورودی و خروجی در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. با داشتن این مشخصات می‌توان میزان نفوذ در واحد طول جویچه را تعیین نمود (۱۵).

مدل SIPAR_ID: این مدل تحت ویندوز و برای تخمین ضرایب

نفوذ معادله کوستیاکف و ضریب زبری مانینگ در آبیاری سطحی پیشنهاد شده است. این مدل برای تخمین ضرایب از معادله بیلان حجم و روش حل معکوس استفاده کرده و از شبکه عصبی مصنوعی به منظور به حداقل رساندن اختلاف مرحله پیشروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده استفاده می‌کند. ورودی‌های این مدل شامل هیدروگراف ورودی، فاز پیشروی، شیب کف مزرعه، پارامترهای هیدرولیکی و هندسی و عمق جریان در هر ایستگاه در زمان‌های مختلف است. این مدل توانایی تحلیل حساسیت و عدم قطعیت نتایج خروجی را نیز دارا است (۱۲). همچنین در این تحقیق به منظور افزایش دقت این مدل در تخمین پارامترهای نفوذ سه ضریب تعدیل (ρ) برابر با ۰، ۰/۵ و ۱ مورد بررسی قرار گرفت.

مدل IPARM: این مدل ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف-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. ورودی‌های مدل شامل فاز پیشروی، هیدروگراف ورودی و خروجی، پارامترهای سطح مقطع، شیب و ضریب زبری مانینگ می‌باشند (۵).

روش تحقیق

به منظور ارزیابی عملکرد روش‌ها، از اطلاعات آزمایش‌های صحرایی آبیاری جویچه‌ای در مزارع نیشکر استان خوزستان استفاده

جدول ۱- مشخصات داده‌های مزرعه‌ای
Table 1- Field data characteristics

شماره جویچه Furrow NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	دبی Discharge (L/sec)	1	1.5	2	1	1.5	2	1	1.5	2
آبیاری اول First irrigation	ضریب زبری Roughness coefficient	0.216	0.1251	0.0174	0.1153	0.025	0.0675	--	--	--
	حجم آب ورودی Inflow Volume (m ³)	50.75	63.99	85.68	57.35	71.15	94.91	--	--	--
	رواناب خروجی Runoff Volume (m ³)	8.79	6.57	6.6	13.34	8.29	13.39	--	--	--
	زمان پیشروی Advance time (min)	254	170	140	273	182	157	--	--	--
	زمان قطع جریان Cutoff time (min)	913	772	696	1053	873	827	--	--	--
	ضریب زبری Roughness coefficient	0.1753	0.0274	0.0369	0.163	0.09	0.1084	0.1155	0.1284	0.0528
	حجم آب ورودی Inflow Volume (m ³)	60.65	70.39	84.16	74.51	121.9	149.97	94.95	71.66	82.36
آبیاری دوم Second irrigation	رواناب خروجی Runoff Volume (m ³)	14.52	14.3	9.07	9.55	35.44	21.97	13.65	7.31	14.67
	زمان پیشروی Advance time (min)	270	189	153	153	273	262	390	238	131
	زمان قطع جریان Cutoff time (min)	0.1753	820	780	1390	1310	1230	1751	856	749
	ضریب زبری Roughness coefficient	0.961	0.0388	0.026	0.1236	0.094	0.0533	0.0777	0.063	0.023
	حجم آب ورودی Inflow Volume (m ³)	122.57	76.77	121.7	135.81	94.15	119.88	94.67	87.14	112.94
	رواناب خروجی Runoff Volume (m ³)	15.55	8.33	10.95	11.21	7.28	11.11	12.3	9.56	12.19
	زمان پیشروی Advance time (min)	9530	250	180	810	271	177	495	218	154
آبیاری سوم Third irrigation	زمان قطع جریان Cutoff time (min)	2300	994	1095	2040	1150	1174	1720	1060	1100

نتایج و بحث

پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف لوئیس با استفاده از روش‌های دونقطه‌ای، ورودی-خروجی و دو مدل SIPAR_ID و IPARM سه نوبت آبیاری تعیین گردید که نتایج آن در جدول‌های (۲) و (۳) ارائه گردیده است. برخلاف IPARM دیگر مدل کامپیوتری توانایی تخمین سرعت نفوذ نهایی را نداشته و به همین دلیل سرعت نفوذ نهایی در این مدل با استفاده از روش ورودی-خروجی تعیین شد. بنا به گزارش باتیستا و همکاران (۲۰۰۹) به منظور کاهش سرعت نفوذ نهایی تحت شرایط طبیعی مزرعه باید از ضریب تعدیل استفاده نمود که در این تحقیق علاوه بر ضریب پیشنهادهی باتیستا و همکاران (۲۰۰۹) که برابر با ۰/۵ بود، دو ضریب تعدیل ۰ و ۱ نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از سه ضریب تعدیل مورد ارزیابی قرار گرفت که خلاصه نتایج این بررسی در جدول‌های (۳) و (۴) ارائه گردیده است. در تخمین پارامتر مدل IPARM با مقادیری در حدود (۰/۸۲-۰/۰۲) و روش ورودی-خروجی با محدوده (۰/۹۸-۰/۶۱) به

ترتیب دارای بیشترین و کمترین نوسانات هستند. سرعت نفوذ نهایی در هر چهار روش تقریباً معادل یکدیگر و در حدود (۰/۰۰۱۱۱-۰/۰۰۰۲۱) است. مدل SIPAR_ID به دلیل عدم تخمین سرعت نفوذ نهایی مقدار ضریب k را با نوسان بیشتری در مقایسه با روش‌های دیگر تخمین می‌زند و همچنین مقدار ضریب را با محدوده (۰/۹۷-۰/۴۴) بیشتر از روش‌های دیگر تخمین می‌زند.

به‌طور کلی فرآیند توزیع آب در مزرعه در شرایط طبیعی به‌صورت ماندگار نیست که بنا به این امر باید مقدار سرعت نفوذ نهایی در خاک کاهش یابد. همچنین بعد از گذشت مدت‌زمانی خاص نرخ سرعت نفوذ در خاک به مقدار ثابت می‌رسد. از این‌روی مدل SIPAR_ID به دلیل عدم توانایی برآورد سرعت نفوذ نهایی، توانایی تخمین پارامترهای نفوذ را با دقت بالا ندارد. بنا به دلایل فوق باتیستا و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور کاهش نرخ سرعت نفوذ نهایی از ضریب تعدیل استفاده نمودند. در این تحقیق به‌منظور بررسی ضریب تعدیل مناسب مقادیر ۰ و ۰/۵ و ۱ استفاده گردید. نتایج مربوط به تخمین پارامترهای نفوذ توسط مدل SIPAR_ID با استفاده از مقادیر مختلف

زمان پیشروی

زمان پیشروی اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده با چهار روش مختلف تخمین پارامتر نفوذ، در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج شکل ۱ نشان داد که در تمامی نوبت‌های آبیاری، چهار روش تخمین پارامترهای نفوذ مقدار زمان پیشروی آب در سطح جویچه را در مقایسه با مقدار مزرعه‌ای کمتر تخمین زده‌اند. روش دونقطه‌ای الوت-واکر در مقایسه با دیگر روش‌ها در تخمین زمان پیشروی نزدیک‌ترین برآورد را نسبت به مقدار واقعی داشت و از عملکرد بهتری برخوردار بود. همچنین مدل کامپیوتری IPARM به دلیل استفاده از داده‌های ورودی بیشتر در مقایسه با مدل SIPAR_ID، از عملکرد بهتری در شبیه‌سازی زمان پیشروی برخوردار بود.

روش ورودی-خروجی در مقایسه با دیگر روش‌های تخمین پارامترهای نفوذ از دقت پائین تری برخوردار بود. مقادیر NRMSE، MAE و RE و R2 تخمین زمان پیشروی توسط چهار روش مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. حداقل مقدار NRMSE زمان پیشروی مربوط به روش دونقطه‌ای الوت-واکر و سپس مدل کامپیوتری SIPAR_ID می باشد که به ترتیب برابر با ۱۰/۵۳ و ۱۷/۱۹ درصد بودند.

سرعت نفوذ نهایی (f_0) در جداول ۴ و ۵ ارائه گردیده است. طبق جدول ۵ دو شاخص آماری RE و R^2 حاصل از Z_3 به ترتیب ۱۶/۶۳ و ۴۶ درصد می باشد که در مقایسه با دو روش دیگر مقدار حجم آب نفوذ یافته در جویچه را با دقت بالاتری تخمین زد که نشان از دقت بالاتر Z_3 در مقایسه با Z_1 و Z_2 دارد. این در حالی است که سیاری و همکاران (۲۰۱۷) به منظور استفاده از مدل SIPAR_ID در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان از دقت مناسب این روش در تخمین پارامترهای نفوذ داشت. همچنین نی و همکاران (۲۰۱۴) از در تخمین پارامترهای نفوذ استفاده نمودند. شرایط فیزیکی متفاوت از جمله دلایل تأثیرگذار بر مقدار سرعت نفوذ نهایی است. به گونه‌ای که طول و عرض جویچه های مورد استفاده در تحقیق سیاری و همکاران (۲۰۱۷) به ترتیب برابر با ۰/۷، ۷۲، ۰/۷ متر و شیب ۰/۰۶۱ و در تحقیق نی و همکاران (۲۰۱۴) طول و عرض جویچه ها به ترتیب ۷۰ و ۰/۹۵ متر و شیب ۰/۰۰۵ بوده است، درحالی که جویچه‌های آزمایشی در این تحقیق طول عرض به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۱/۸۳ متر و شیب جویچه برابر با ۰/۰۴ درصد بود. در حالت کلی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از ضریب تعدیل بالاتر منجر به افزایش دقت مدل SIPAR_ID در تخمین حجم آب نفوذ یافته در خاک می گردد.

جدول ۲- پارامترهای نفوذ

Table 2- Infiltration Parameters

شماره جویچه Furrow NO.	روش دونقطه ای Two point method			روش ورودی-خروجی Inflow-outflow method			مدل IPARM IPARM model			
	a (-)	k ($m^3.m^{-1}.min^a$)	f_0 ($m^3.m^{-1}.min$)	a (-)	k ($m^3.m^{-1}.min^a$)	f_0 ($m^3.m^{-1}.min$)	a (-)	k ($m^3.m^{-1}.min^a$)	f_0 ($m^3.m^{-1}.min$)	
1	0.43	0.008	0.000049	0.88	0.000413	0.00049	0.28	0.0012	0.00051	
2	0.13	0.0343	0.0008	0.94	0.000443	0.0008	0.27	0.0093	0.00069	
3	0.19	0.0478	0.00111	0.98	0.000568	0.00111	0.65	0.0062	0.00058	
آبیاری اول First irrigation	4	0.22	0.0291	0.00046	0.85	0.00044	0.00046	0.03	0.051	0.00046
5	0.11	0.0603	0.00081	0.93	0.00042	0.00081	0.48	0.007	0.00055	
6	0.27	0.0357	0.00101	0.92	0.000686	0.00101	0.41	0.011	0.00084	
1	0.34	0.0176	0.0004	0.61	0.0029	0.0004	0.51	0.0086	0.00066	
2	0.08	0.0766	0.00072	0.88	0.0006	0.00072	0.02	0.009	0.00053	
3	0.25	0.0347	0.00106	0.92	0.0006	0.00106	0.03	0.045	0.0011	
4	0.29	0.0381	0.00057	0.89	0.0004	0.00057	0.65	0.0033	0.00021	
5	0.5	0.0168	0.00061	0.79	0.0012	0.00061	0.38	0.015	0.00058	
6	0.64	0.0108	0.001	0.92	0.0007	0.001	0.7	0.012	0.00095	
آبیاری دوم Second irrigation	7	0.42	0.0168	0.0005	0.87	0.0005	0.0005	0.3	0.0071	0.00043
8	0.22	0.038	0.00077	0.95	0.0008	0.00077	0.82	0.0023	0.00061	
9	0.35	0.0224	0.00103	0.92	0.0007	0.00103	0.01	0.035	0.00104	
1	0.47	0.0168	0.00051	0.92	0.00033	0.00051	0.22	0.033	0.00049	
2	0.21	0.0503	0.00079	0.94	0.0004	0.00079	0.21	0.023	0.00064	
3	0.43	0.0212	0.00111	0.94	0.0006	0.00111	0.4	0.01	0.00091	
4	0.52	0.0167	0.00049	0.85	0.00073	0.00049	0.5	0.012	0.00034	
5	0.55	0.009	0.00082	0.95	0.00039	0.00082	0.19	0.013	0.00076	
آبیاری سوم Third irrigation	6	0.31	0.0361	0.00109	0.96	0.00046	0.00109	0.1	0.012	0.00092
7	0.49	0.0165	0.0005	0.94	0.00028	0.0005	0.23	0.024	0.00048	
8	0.22	0.0404	0.0008	0.94	0.00043	0.0008	0.22	0.039	0.00036	
9	0.17	0.0165	0.00108	0.96	0.00051	0.00108	0.21	0.027	0.00083	

جدول ۳- پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکوف-لوئیس توسط مدل SIPAR_ID

Table 3- Parameters of the Kostiakov-Lewis Equation by SIPAR_ID

		مدل SIPAR_ID			
		SIPAR_ID Model			
شماره جویچه		a	k	f ₀	0.5f ₀
Furrow NO.		(-)	(m ³ .m ⁻¹ .min ^a)	(m ³ .m ⁻¹ .min)	(m ³ .m ⁻¹ .min)
آبیاری اول First irrigation	1	0.48	0.0088	0.000487	0.000243
	2	0.67	0.0049	0.0008	0.0004
	3	0.75	0.0058	0.00111	0.000556
	4	0.88	0.0013	0.000458	0.000229
	5	0.59	0.0071	0.000806	0.000403
	6	0.48	0.0053	0.001015	0.000507
آبیاری دوم Second irrigation	1	0.60	0.0049	0.000396	0.000198
	2	0.56	0.0098	0.000724	0.000362
	3	0.73	0.0039	0.001059	0.000529
	4	0.98	0.0005	0.000572	0.000286
	5	0.81	0.0027	0.000608	0.000304
	6	0.96	0.0016	0.000998	0.000499
	7	0.70	0.0038	0.000501	0.00025
	8	0.78	0.0028	0.00077	0.000385
	9	0.88	0.0019	0.001026	0.000513
آبیاری سوم Third irrigation	1	0.98	0.00064	0.000512	0.000256
	2	0.99	0.00083	0.000794	0.000397
	3	0.62	0.0088	0.001107	0.000553
	4	0.68	0.0063	0.000494	0.000247
	5	0.64	0.0065	0.00082	0.00041
	6	0.62	0.0071	0.001094	0.000547
	7	0.79	0.0025	0.0005	0.00025
	8	0.79	0.0029	0.0008	0.0004
	9	0.46	0.018	0.00108	0.00054

جدول 4- تخمین حجم آب نفوذ یافته توسط مدل SIPAR_ID

Table 4- Estimation of infiltration volume by SIPAR_ID

شاخص آماری	Z ₁ =kt ^a	Z ₂ =kt ^a +f ₀ t	Z ₃ =kt ^a +0.5 f ₀ t
Statistical indicators			
RE	-48.65	-24.64	16.63
R ²	0.31	0.42	0.46

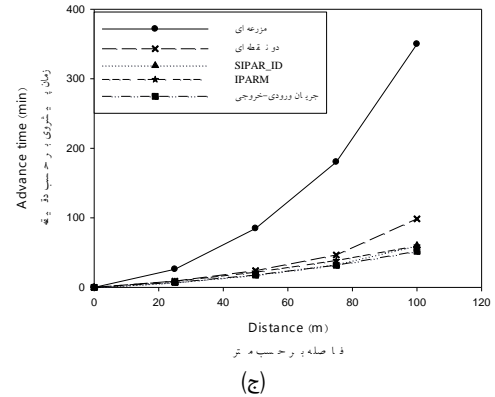
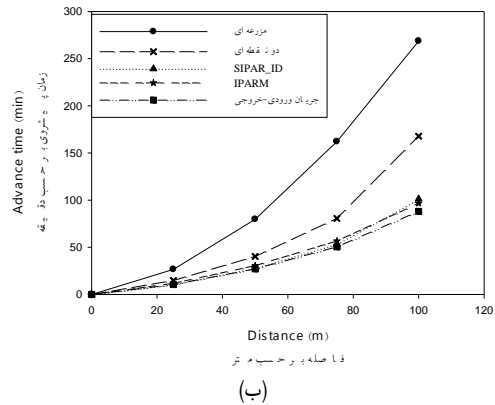
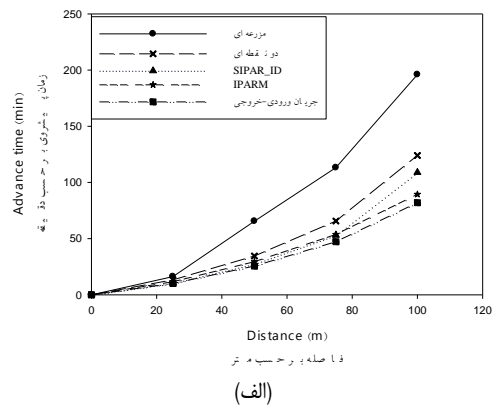
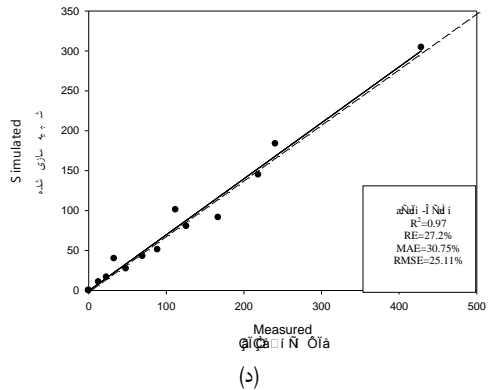
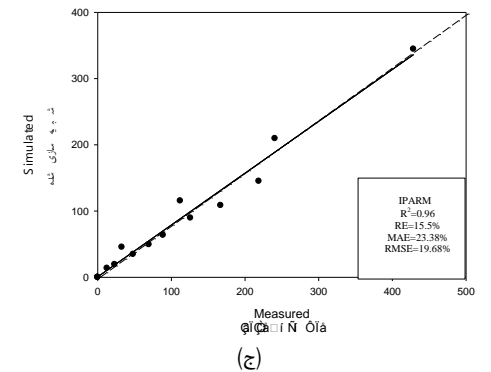
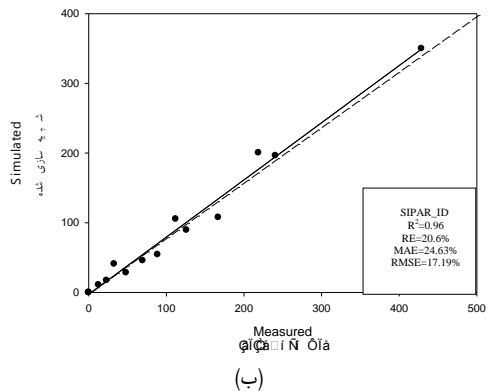
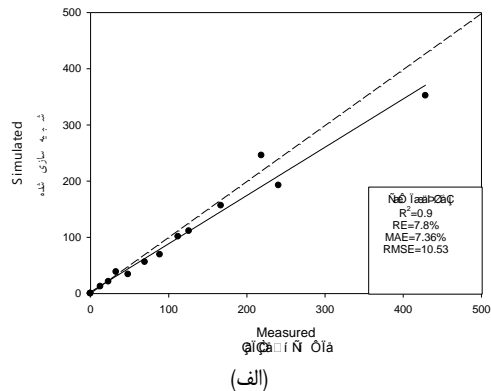
مشابهی ارائه نمودند.

حجم رواناب

نتایج مربوط به تخمین حجم رواناب توسط چهار روش مختلف در شکل ۳ ارائه شده است. مطابق شکل ۳، مقدار RE در روش‌های دونقطه‌ای الیوت-واکر و ورودی-خروجی به ترتیب برابر با ۱/۲ و ۰/۳ درصد بوده است که نشان از دقت بسیار بالای این دو روش در تخمین حجم رواناب در مقایسه با شرایط مزرعه‌ای دارد. همچنین شاخص‌های آماری NRMSE، MAE و R² حجم رواناب مربوط به روش ورودی-خروجی به ترتیب برابر با ۱/۶، ۱/۹۹ و ۹۸ درصد، NRMSE، MAE و R² روش دونقطه‌ای الیوت-واکر به ترتیب ۸/۸، ۸/۷ و ۹۹ درصد می‌باشد که نشان دهنده دقت بالای روش دونقطه‌ای الیوت-واکر و ورودی-خروجی می‌باشد. همچنین، متوسط

از سوی دیگر دو شاخص آماری MAE و RE در تخمین زمان پیشروی نشان از دقت بالای روش دونقطه‌ای الیوت-واکر (به ترتیب ۱۴/۹۱ و ۱۰/۱ درصد) سپس مدل IPARM (به ترتیب ۲۳/۳۸ و ۱۵/۵ درصد) داشتند. مقدار NRMSE زمان پیشروی تخمین زده شده توسط روش ورودی-خروجی (۲۵/۱۱ درصد) نشان از دقت پائین و عدم توانایی این روش در تخمین زمان پیشروی دارد. در حالت کلی، روش دونقطه‌ای الیوت-واکر به دلیل بررسی فازهای مختلف آبیاری و در نظر گرفتن شرایط مختلف مزرعه‌ای در تخمین زمان پیشروی از عملکرد بالاتری نسبت به دیگر روش‌های موردبررسی برخوردار بود. همچنین مدل کامپیوتری IPARM به دلیل استفاده از داده‌های مختلف (از جمله فاز پیشروی، هیدروگراف ورودی، رواناب خروجی) دارای عملکرد قابل قبولی بود. سیاری و همکاران (۲۰۱۷)، کمالی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در تحقیقات خود نتایج

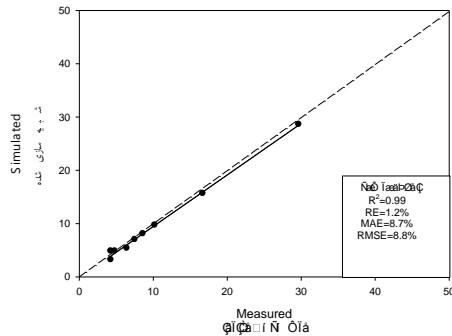
NRMSE برای دو مدل کامپیوتری IPARM و SIPAR_ID به ترتیب ۲۸ و ۱۲/۸ درصد حاصل شد.



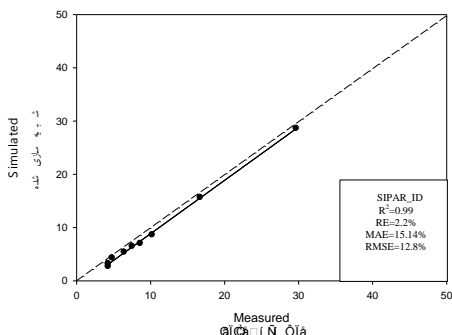
شکل ۱- زمان پیشروی شبیه‌سازی شده (الف: آبیاری اول، ب: آبیاری دوم، ج: آبیاری سوم)

شکل ۲- ارزیابی زمان پیشروی (الف: روش دو نقطه‌ای، ب: مدل SIPAR_ID، ج: مدل IPARM، د: روش ورودی-خروجی)

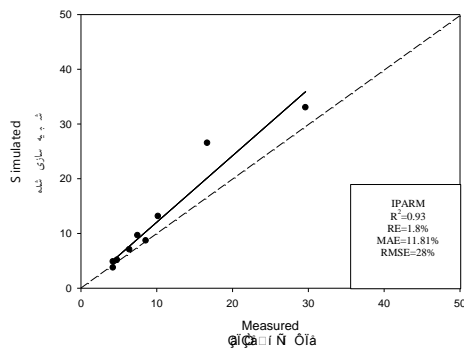
Figure 2- Evaluation of advance time (a: Two Point Method, b: SIPAR_ID Model, c: IPARM Model, d: Inflow-outflow Method)



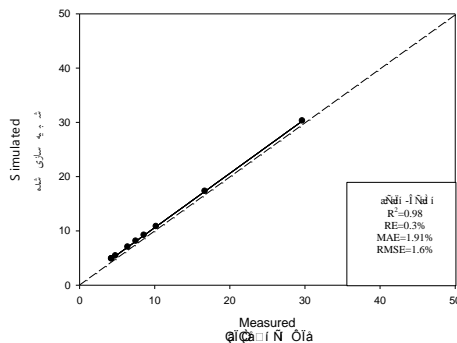
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۳- ارزیابی حجم رواناب (الف: روش دو نقطه‌ای، ب: مدل

SIPAR_ID، ج: مدل IPARM، د: روش ورودی-خروجی

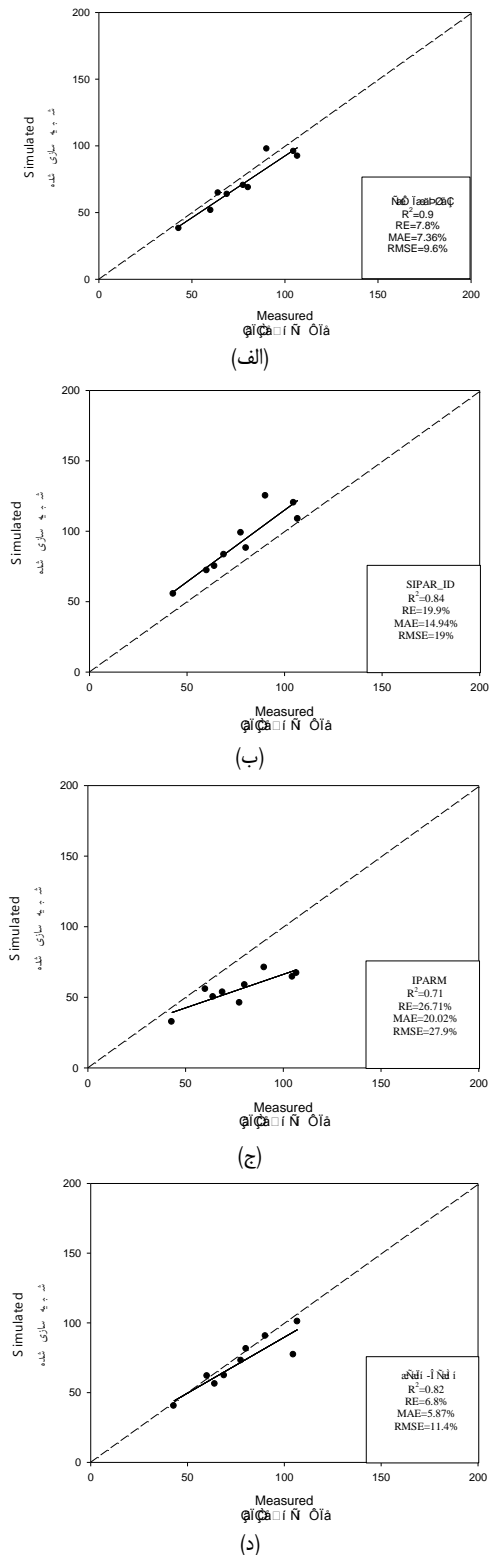
Figure 3- Evaluation of Runoff Volume (a: Two Point Method, b: SIPAR_ID Model, c: IPARM Model, d: Inflow-outflow Method)

همچنین متوسط MAE ، RE و R^2 در مدل IPARM به ترتیب $۱۱/۸۱$ ، $۱/۸$ و ۹۳ درصد، مدل SIPAR_ID به ترتیب $۱۵/۱۴$ ، $۲/۲$ و ۹۹ درصد برآورد کرد که این مقادیر نشان داد مدل‌های کامپیوتری IPARM و SIPAR_ID در برآورد پارامترهای نفوذ از دقت قابل قبولی برخوردار هستند اما در مقایسه با روش‌های مستقیم عملکرد ضعیف‌تری دارند. وضعیت فیزیکی زمین از جمله شیب، ضریب زبری مانینگ و پوشش گیاهی متفاوت در نوبت‌های مختلف آبیاری (به دلیل رشد گیاه نیشکر و تردد ماشین‌آلات کشاورزی در سطح مزرعه) منجر به تفاوت زمان پیشروی آب در سطح مزرعه و توزیع آب در خاک و در نهایت ایجاد پراکنش در حجم رواناب خروجی از مزرعه گردید. از سوی دیگر به دلیل ماهیت مدل‌های کامپیوتری و پیش‌فرض‌های ثابت، مدل‌های کامپیوتری توانایی شبیه‌سازی شرایط مزرعه‌ای را به صورت کامل نداشته که این امر خود منجر به کاهش دقت شبیه‌سازی گردیده است.

در حالت کلی، روش‌های مستقیم تخمین پارامترهای نفوذ (مانند روش دونقطه‌ای و ورودی-خروجی) در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری در تخمین حجم رواناب خروجی از عملکرد بهتری برخوردار بودند. عوامل متعددی منجر به افزایش دقت روش‌های مستقیم در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری خواهد گردید. از جمله این عوامل، بررسی فازهی مختلف آبیاری در روش‌های مستقیم در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری است. همچنین مدل‌های کامپیوتری مختلف مانند SIPAR_ID از تعداد محدودی داده به منظور تخمین پارامترهای نفوذ استفاده می‌کند که این امر منجر به کاهش دقت به مقدار اندک در تخمین پارامترهای نفوذ می‌گردد. از سوی دیگر، مدل‌های کامپیوتری به دلیل استفاده آسان و صرفه‌جویی در وقت و هزینه در تخمین پارامترهای نفوذ، راهکاری مناسب به منظور تخمین پارامترهای نفوذ می‌باشند، هرچند که در مقایسه با روش‌های مستقیم از دقت کمتری برخوردار هستند که این مقدار کاهش قابل توجه نمی‌باشد.

حجم آب نفوذ یافته

نتایج تخمین حجم آب نفوذ یافته در سطح جویچه با استفاده از روش‌های مختلف تعیین پارامتر نفوذ در شکل ۴ ارائه گردیده است. نتایج حاصل از شکل ۴ نشان داد که حداقل مقدار $NRMSE$ توسط روش دونقطه‌ای الیوت-واکر برآورد گردید ($۹/۶$ درصد) سپس دیگر روش مستقیم (روش ورودی-خروجی) با میانگین $۱۱/۴$ درصد بهترین عملکرد را در تخمین حجم آب نفوذ یافته داشت. بررسی میانگین MAE ، RE و R^2 در بررسی روش‌های مستقیم تخمین حجم آب نفوذ یافته، نتایج مشابهی را ارائه نمود. با توجه به MAE ، $NRMSE$ ، RE و R^2 مدل SIPAR_ID با مقادیر ۱۹ ، $۱۴/۹۴$ ، $۱۹/۹$ و ۸۴ درصد در مقایسه با مدل IPARM از عملکرد بالاتری در تخمین حجم آب نفوذ یافته در سطح جویچه داشت.



شکل ۴- ارزیابی حجم آب نفوذ یافته در جویچه (الف: روش دو نقطه ای، ب: روش وردی-خروجی، ج: مدل SIPAR_ID، د: مدل IPARM) Figure 4- Evaluation of Infiltrated Volume (a: Two Point Method, b: SIPAR_ID Model, c: IPARM Model, d: Inflow-outflow Method)

با توجه به این امر که روش ورودی-خروجی و دونقطه‌ای که دارای رابطه نزدیک‌تری با داده‌های مزرعه‌ای می‌باشند و همچنین به دلیل اینکه برای تعیین پارامترهای نفوذ از حل مستقیم استفاده می‌نمایند، بنا بر گزارش باتیستا و همکاران (۱) دقت بالاتری در شبیه‌سازی دارند و نوسانات کمتری در مقایسه با دو مدل کامپیوتری دارند. نتایج شکل ۴ نشان داد که، پراکنش میان داده‌ای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده حجم آب نفوذ یافته در سطح مزرعه نسبت به خط ۱:۱ شدید می‌باشد به گونه‌ای که تعدادی از داده‌های در پائین و تعدادی در بالای این خط قرار دارند، که این امر منجر به کاهش شاخص‌های آماری از جمله R^2 گردید. مشابه با حجم رواناب مهمترین عامل تاثیر گذار بر مقدار حجم آب نفوذ یافته در سطح مزرعه شرایط توپوگرافی زمین می‌باشد. این در حالی است که، نتایج نقشه‌برداری در سطح مزرعه نشان از تفاوت شیب در نیمه دوم زمین داشت که این امر خود عاملی بر توزیع غیریکنواخت آب در سطح جویچه بود. از سوی دیگر وجود پیش‌فرض‌های ثابت در مدل‌ها و عدم تطبیق با شرایط طبیعی زمین منجر به کاهش دقت شبیه‌سازی توسط مدل‌های کامپیوتری می‌گردد. در حالت کلی، با توجه به شاخص‌های آماری، روش‌های مستقیم تخمین پارامترهای نفوذ و حجم آب نفوذ یافته در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری، دارای دقت بالاتری هستند. دقت و عملکرد پائین‌تر در مدل‌های کامپیوتری مربوط به داده‌های ورودی آن‌ها است. به‌صورت نمونه در مدل IPARM به‌منظور تعیین هیدروگراف ورودی از میانگین آن استفاده گردید. همانند نتایج تحقیقات پیشین مدل‌های SIPAR_ID و IPARM توانایی بالایی در تخمین پارامترهای نفوذ داشتند، هرچند که روش‌های مستقیم تخمین پارامتر نفوذ از دقت بالاتری برخوردار بودند (۲، ۳، ۶، ۸ و ۱۳).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق، به منظور تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس از دو دسته روش‌های پرکاربرد شامل روش‌های مستقیم (دو نقطه‌ای الیوت-واکر و وردی-خروجی) و مدل‌های کامپیوتری (SIPAR_ID و IPARM) استفاده گردید. ارزیابی‌ها در سه نوبت آبیاری و در نه جویچه با سه دبی مختلف صورت گرفت. نتایج نشان داد که روش دونقطه‌ای الیوت-واکر و روش ورودی-خروجی با حداقل میانگین NRMSE در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری عملکرد بسیار خوبی در تخمین پارامترهای نفوذ داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد تمامی روش‌های مورد استفاده در تخمین زمان پیشروی از عملکرد قابل قبولی برخوردار شد، هرچند روش‌های مستقیم در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری عملکرد بهتری داشت.

که روش‌های مستقیم به دلیل درجه بالاتری از ارتباط با شرایط طبیعی مزرعه ای و استفاده از تمامی مراحل مختلف آبیاری از عملکرد مطلوب‌تری برخوردار بودند، هرچند که مدل کامپیوتری IPARM نیز به دلیل دقت قابل قبول و کاربردوست بودن از جمله مدل‌های مناسب در تخمین پارامترهای نفوذ می‌باشد. در نهایت به دلیل توپوگرافی نامناسب در مزارع نیشکر و شرایط خاص مزارع آنها توصیه می‌شود به منظور تخمین پارامترهای نفوذ از روش‌های مزرعه‌ای از جمله روش دونقطه‌ای ایوت-واکر استفاده گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله تشکر ویژه خود را از تمامی کارکنان شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی به‌خصوص مهندس صابوری بزرگوار به‌پاس تمامی زحمات و حمایت بی‌دریغشان اعلام می‌دارند.

با توجه به نتایج این تحقیق، روش‌های دو نقطه‌ای ایوت-واکر و ورودی-خروجی، با میانگین NRMSE برابر با ۹/۶ و ۱۱/۴ درصد در تخمین حجم آب نفوذ یافته و ۸/۸ و ۱/۶ درصد در تخمین حجم رواناب خروجی، در مقایسه با مدل‌های کامپیوتری از عملکرد بهتری برخوردار بودند. مقایسه نتایج مدل‌های کامپیوتری نشان داد، مدل کامپیوتری IPARM علاوه بر داده‌های مرحله پیشروی، در تخمین پارامترهای نفوذ از داده‌های سایر مراحل آبیاری نیز استفاده می‌نماید که به همین دلیل در مقایسه با مدل SIPAR_ID در برآورد زمان پیشروی، حجم آب نفوذ یافته و رواناب از عملکرد بهتری برخوردار بود که میانگین شاخص آماری RE مدل IPARM با مقادیر ۱۵/۵، ۲۶/۷ و ۱/۸ درصد در برآورد زمان پیشروی، حجم آب نفوذ یافته و رواناب، نشان از دقت مناسب‌تر این مدل داشت. در حالت کلی، نتایج تمامی روش‌های مورد استفاده نشان از عملکرد مطلوب آنها در تخمین پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئیس داشت. این در حالی است

منابع

- 1- Bautista E., Clemmens A.J., and Strelkoff T.S. 2009. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. *Agricultural Water Management* 96(7): 1146-1154.
- 2- Ebrahimi H., Liaghat A., GhanbarianAlavijeh B., and Abbasi F. 2010. Evaluation of various quick methods for estimating furrow and border infiltration parameters. *Irrigation Science* 28: 479-488.
- 3- Ebrahimi H. 2014. Soil Infiltration Characteristics in Alternate and Conventional Furrow Irrigation using Different Estimation Methods. *Korean Society of Civil Engineers* 18(6): 1904-1911.
- 4- Elliot R.L., and Walker W.R. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Trans of the ASAE*, 25(2): 396-400.
- 5- Gillies M.H., and Smith R.J. 2005. Infiltration parameters from surface irrigation advance and run-off data. *Irrigation Science* 24(1): 25-35.
- 6- Hanson B.R., Prichard T.L., and Schulbach H. 1993. Estimating furrow infiltration. *Agricultural Water Management* 24(4): 281-298.
- 7- Kamali P., Ebrahimi H., and Verdinejad V.R. 2015. Evaluation and comparison of multilevel optimization method and IPARM model to estimate infiltration parameters in furrow irrigation. *Journal of Water and Irrigation Management* 5(1): 43-54. (In Persian)
- 8- Kamali P., and Ebrahimi H. 2017. Comparison and evaluation of different methods for inverse estimation of the infiltration equation parameters in vegetated furrows. *Journal of Soil and Water Research* 48(1): 39-48.
- 9- 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.
- 10- Moravejalahkami B., Mostafazadeh-Fard B., Heidarpour M., and Abbasi F. 2012. Comparison of Multilevel Calibration and Volume Balance Method for Estimating Furrow Infiltration. *Irrigation and Drainage Engineering* 138(8): 781-777.
- 11- Rezavardinejad V., Ahmadi H., Hemmati M., and Ebrahimi H. 2016. Evaluation and Comparison of Different Approaches of Infiltration Parameters Estimation under Different Furrow Irrigation Systems and Inflow Regimes. *JWSS*. 20(76): 161-176.
- 12- Rodriguez J.A., and Martos J.C. 2010. SIPAR_ID: freeware for surface irrigation parameter identification. *Environment Model Software* 25: 1487-1488.
- 13- Sayari S., Rahimpour M., and Zounemat-Kermani M. 2017. Numerical modeling based on a finite element method for simulation of flow in furrow irrigation. *Paddy and Water Environment* 15(4): 879-887.
- 14- Walker W.R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *Journal of Irrigation Drainage Engineering* 131(2): 129-136.
- 15- Walker W.R., and Skogerboe G.V. 1987. The theory and practice of surface irrigation. Logan, Utah, Chapter 8, Vol. Balance field design, 81-87.

Evaluation of Direct Methods and Computer Models in Estimating the Infiltration Parameters of the Kostiakov-Lewis Equation in Sugarcane Fields

R. Mazarei^{1*} - A.A. Naseri² - A. Soltani Mohammadi³

Received: 10-09-2018

Accepted: 11-06-2019

Introduction: Surface irrigation systems are the oldest and common irrigation method. Surface irrigation is of low cost and energy requirements compared to sprinkler and drip irrigation systems. In general, a main large number of fields' data is needed to show the farm average condition. Infiltration parameters are one of the most important parameters in surface irrigation systems and it has led to increase the irrigation systems efficiency, especially since the characteristics of infiltration vary with time and place. The modified kostiakov-lewis equation is one of the most useful infiltration equations in surface irrigation. In the current study, the infiltration parameters of the modified kostiakov-lewis equation were determined with two sets of usual methods including direct methods such as two-point Elliot and Walker and Input-Output, computer models such as SIPAR_ID and IPARM. Finally, the results were compared with the results of field experiments.

Materials and Methods: The current field was irrigated three times from 14 September to 31 October 2016 at the R 5-22 farm located in Salman Farsi Agro-Industry sugarcane fields with age of Raton 2. To collect the required data, the fields experiments were conducted on nine furrows of 250 m in length, 1.83m in space and 0.04% in slope, which all furrows were irrigated under three events and three inflow (1, 1.5 and 2 l/s), and fields' data were obtained from experimental measurements during summer and autumn 2016 at sugarcane fields of Salman Farsi Agro-Industry %. In the current study, the inflow rate and runoff were measured by W.S.C type 1 and 2 and all furrows divided into 10 stations. The advance time and infiltrated depth were measured at each stations. In this study 18 furrows were considered, nine furrows were used for testing and the other furrows had buffer roles. The furrows were irrigated by closed-end method. In this study, three indicators of infiltrated volume in the root zone, advance time and runoff volume were used to evaluate the accuracy of estimation of infiltration parameters. Surface irrigation model: WinSRFR 4.1.3 was used to simulate irrigation phases and infiltration value in each method. In this study, zero inertia model was used for simulation.

Results and Discussion: Results of this study showed that using the direct methods to estimate the infiltration parameters in WinSRFR 4.1.3 software improves the simulation process significantly. The results of the Two-Point and Input-Output method were showed a little difference with the results of the WinSRFR 4.1.3 software in simulation of the closed-end furrow irrigation process with sugarcane cultivated in furrows. The direct methods for infiltration parameters in furrow irrigation showed more accuracy than computer models in advance time, runoff and infiltrated water volumes. According to the results of this study, the Two-Point method in estimation of advance time with mean of RMSE, MAE and RE of 10.52, 14.91 and 10.1%, infiltrated water volume with mean of RMSE, MAE and RE of 9.6, 7.36 and 7.8 and runoff volume with mean of RMSE, MAE and RE of 8.8%, 8.7% and 1.2%, had a very acceptable performance. Also, the RMSE and RE values of other direct method (input-output method) were 11.4% and 6.8% for infiltrated water volume, respectively, and 1.6 and 0.3% for runoff volume, respectively, shows that this method has high accuracy in estimating these two performance indicators although this method with an average of 25.11% and 27.2% was not able to accurately simulate advance time. On the other hand, the results of computer models showed that the IPARM model with the average mean absolute error and relative error was 23.33, 15.5% of the advance time, 20.02 and 26.7% of the infiltrated volume and 11.81% and 1.8% estimated runoff volume, which was better than the SIPAR_ID model. Although computer models had acceptable performance in estimating infiltration parameters, direct methods performed better due to the use of more input data and data from all stages of irrigation. In general results of this study were showed that, if the direct methods for infiltration equations used Instead of the computers models in the designing, simulation and evaluation of the furrow irrigation systems, increased the accuracy of results to significantly and will improve and increase irrigation performance indicators.

Keywords: Infiltration parameter, Inflow-outflow method, IPARM, SIPAR_ID, Two-point method

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Professor and Associate Professor of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Respectively.

(* - Corresponding Author Email: reza.mazarei1372@gmail.com)