

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی روش یک نقطه‌ای در برآورد مشخصات نفوذ (مطالعه روش مقیاس‌سازی)

مرتضی بزی^۱، محمد مهدی چاری^{۲*}، معصومه دلبری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۷

چکیده

نفوذ آب در خاک یکی از پارامترهای تعیین‌کننده در آبیاری می‌باشد که تمامی عوامل مربوط به ارزیابی آبیاری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرفی تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای نفوذ محدودیت فیزیکی بزرگی در مدیریت و رسیدن به راندمان کاربرد بالای آبیاری سطحی می‌باشند. هدف از این تحقیق ارزیابی روش مقیاس‌سازی در برآورد پارامترهای معادله نفوذ در آبیاری جویچه‌ای بر اساس روش الیوت-واکر، شپرد و همکاران، ابراهیمیان و همکاران، infilt، والیانس و میلپالی و همچنین بررسی دقت نقطه میانی و نقطه انتهایی برای فرآیند مقیاس‌سازی است. برای این منظور یک منحنی نفوذ مرجع در نظر گرفته شده و سپس با استفاده از مدت زمان رسیدن آب به میانه و انتهای جویچه، عامل مقیاس آن جویچه به دست می‌آید. در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده شش جویچه با بافت خاک و داده‌های ورودی مختلف استفاده شد. به طور کلی نتایج نشان داد چنانچه از نقطه انتهایی جویچه به منظور محاسبه فاکتور مقیاس در روش مقیاس‌سازی استفاده شود، دقت این روش به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. بر اساس ارزیابی انجام شده روش ابراهیمیان دارای بهترین نتایج بود. در روش infilt تفاوت محسوسی بین استفاده از نقطه میانی و نقطه انتهایی وجود ندارد. در بسیاری از موارد استفاده از نقطه میانی به منظور بدست آوردن پارامترهای معادله نفوذ مقدار پیشروی را بیش برآورد، پیش‌بینی می‌کند. سادگی روش یک نقطه‌ای مقیاس‌سازی از مزایای این روش در مقیاس با سایر روش‌های بدست آوردن پارامترهای نفوذ است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، مقیاس‌سازی، نفوذ، جویچه

مقدمه

که پیشروی، پسروری، رواناب و حجم آب نفوذ کرده در خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تغییر پذیری مکانی و زمانی سرعت نفوذ مدیریت سیستم آبیاری را بسیار پیچیده کرده است. محققانی مانند چایلندز و همکاران، اوپونارات و همکاران و گزمان و همکاران نشان دادند که با تغییرپذیری مشخصات خاک‌ها مشخصات نفوذ آبیاری سطحی نیز تغییر می‌کند (Childs et al., 1993; Oyonarte et al., 2002; Guzmán-Rojo et al., 2019). با توجه به اینکه تغییرپذیری خاک بر روی توزیع عمق نفوذ موثر است، استفاده از تنها یک معادله نفوذ برای تمامی مزرعه کارایی آبیاری را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار می‌دهد. یکی از مشکلات اساسی پیش روی دانشمندان علوم مرتبط با خاک نحوه‌ی برخورد با تغییرپذیری ویژگی‌های خاک‌ها است. این تغییرپذیری تحلیل روابط جریان آب در خاک را با مشکل مواجه می‌کند (Lakzaianpour et al., 2021). مقیاس‌سازی یکی از روش‌هایی است که به طور گسترده برای ارزیابی فرآیند نفوذ (Khatri and Smith, 2006; Babaei et al., 2018; Chari et al., 2020a) و ویژگی هدایت هیدرولیکی (Ahuja and Williams, 1991; Vogel et al., 1991; Tuli et al., 2001) تغییرپذیری

روش‌های آبیاری سطحی از رایج‌ترین روش‌های استفاده از آب در مزارع ایران و سایر نقاط دنیا می‌باشند. طراحی، ارزیابی و شبیه‌سازی صحیح آبیاری سطحی، نیاز به داشتن اطلاعات کافی در زمینه نفوذ آب در خاک و حرکت آب در خاک است. اهمیت فرآیند نفوذ منجر به توسعه چندین مدل برای پیش‌بینی نفوذ شده است. برخی مدل‌هایی بر اساس ترسیم منحنی بین سرعت نفوذ و زمان تحلیل شده‌اند و خصوصیات فیزیکی خاک را در بر نمی‌گیرند که مدل‌های تجربی نامیده می‌شوند (Kostiakov, 1932; Horton, 1941; SCS, 1974) و برخی دیگر بر مبنای خصوصیات فیزیکی خاک بنا شده‌اند (Green and Ampt, 1911; Philip, 1957).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: mmahdichari@uoz.ac.ir)

کوستیاکف-لوئیس برای مقیاس‌سازی معادله نفوذ استفاده شده است. هدف از این تحقیق ارزیابی روش مقیاس‌سازس در برآورد پارامترهای معادله نفوذ بر اساس روش دونقطه‌ای (Elliot and Walker, 1982)، شپرد و همکاران (Shepard et al., 1993)، ابراهیمیان و همکاران (Maghferati et al. 2021; Ebrahimian et al. 2010) (MacClymont and Smith 1996)، والیانتنس (Valiantzas et al. 2001) و میلپالی (Mailapalli et al. 2008) و همچنین بررسی دقت نقطه میانی و نقطه انتهایی برای فرآیند مقیاس‌سازی است.

مواد و روش‌ها

معادله بیلان حجم

این معادله بر قانون بقاء جرم استوار بوده و نخستین بار توسط لوئیس و میلنه در آبیاری نواری به کار گرفته شد (Lewis and Milne, 1938). این رابطه، بعدها در آبیاری جویچه‌ای به کار گرفته شد. معادله بیلان در هر لحظه از آبیاری (در فاز پیشروی) برابر است با حجم جریان آب در طول (حجم آب موجود روی سطح جویچه) و میزان نفوذ آب به داخل خاک و به فرم زیر تعریف می‌شود:

$$Q \cdot t = V_S + V_I \quad (1)$$

که در آن Q دبی (شدت جریان) ورودی متوسط (m^3/min)، V_I حجم نفوذ (m^3) و V_S حجم ذخیره سطحی (m^3) می‌باشد.

$$V_S = \bar{A} \cdot x(t) = \sigma_y \cdot A_0 \cdot x(t) \quad (2)$$

که \bar{A} سطح مقطع متوسط جریان (m^2)، A_0 سطح مقطع جریان در بالادست (m^2)، σ_y فاکتور شکل سطحی و $x(t)$ فاصله پیشروی در زمان t می‌باشد. حجم نفوذ برابر است با:

$$V_I = \int_0^x Z(t - t_s) ds \quad (3)$$

که t_s زمان رسیدن جریان به نقطه پیشروی s و Z حجم آب نفوذ یافته در طول مزرعه است. بر این اساس، معادله لوئیس-میلنه در آبیاری سطحی به صورت زیر می‌باشد:

$$Q \cdot t = \sigma_y \cdot A_0 \cdot x(t) + \int_0^x Z(t - t_s) ds \quad (4)$$

روش شپارد و همکاران (۱۹۹۳)

این روش برای تخمین پارامترهای معادله نفوذ فیلپ ($Z = St^{0.5} + At$)، ضریب جذب و A ضریب انتقال) پیشنهاد گردید. در این روش، از داده‌های مرحله پیشروی برای برآورد ویژگی‌های نفوذ استفاده می‌شود. با این تفاوت که در این روش از تابع نمایی زیر برای بیان مرحله پیشروی آب در سطح مزرعه استفاده می‌شود (Shepard et al., 1993):

خاک‌ها (Lakzaianpour et al., 2021) و حل‌های عمومی معادلات حرکت آب در خاک (Sadeghi et al., 2012; Chari et al., 2019) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ختری و اسمیت فرض کردند که در مزرعه بزرگ شکل معادله نفوذ تقریباً ثابت بوده و می‌توان آن را با استفاده از مدل منحنی نفوذ (Model Infiltration Curve) بیان کرد (Khatrri and Smith, 2006). در نتیجه برای بیان تغییر پذیری سرعت نفوذ در مزرعه می‌توان از منحنی نفوذ نمونه و یک عامل مقیاس استفاده کرد. آنها برای این روش از معادله کوستیاکف-لوئیس و معادله بیلان حجمی مربوط به آن استفاده کردند. این روش فقط به پیشروی در یک نقطه به علاوه شدت جریان و سطح مقطع جریان در ورودی جویچه نیاز دارد. ختری و اسمیت این روش برای ۴۴ جویچه در دو مزرعه با بافت خاک و شرایط اولیه متفاوت مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که نتایج آن نزدیک به نتایج واقعی می‌باشد. لانگات و همکاران (Langat et al., 2008) به بررسی روش مقیاس‌سازی مورد استفاده قرار گرفته شده توسط ختری و همکاران در آبیاری جویچه‌ای و همچنین تاثیر مسافت‌های مختلف پیشروی بر کاهش خطای تخمین روش مقیاس‌سازی پرداختند و نتیجه گرفتند که چنانچه نقطه پیشروی مورد نیاز برای مقیاس‌سازی در هر یک از نقاط ۰/۷۵، ۰/۵ یا انتهای مزرعه در نظر گرفته شود نتایج آن به نتایج واقعی نزدیک می‌باشد. قبادی و ابراهیمیان (۱۳۹۴) با استفاده از روش مقیاس‌سازی ارائه شده توسط ختری و همکاران به برآورد ضرایب نفوذ در آبیاری جویچه‌ای یک درمیان ثابت و یک در میان متغیر در منطقه کرج پرداختند. نتایج نشان داد که خطای بدست آمده از روش جویچه‌ای یک‌درمیان ثابت از ۱/۴۴ تا ۲۰/۰۳ درصد و در روش جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر از ۰/۴۸ تا ۱۳/۸۰ درصد متغیر است. این بدان معناست که اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مقیاس و اندازه‌گیری شده نفوذپذیری وجود ندارد. چاری و همکاران از فرآیند مقیاس‌سازی برای به دست آوردن پارامترهای معادله نفوذ با استفاده از حداقل اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای استفاده کرد و نشان دادند که با استفاده از یک منحنی مرجع نفوذ و تنها یک زمان اندازه‌گیری زمان-حجم نفوذ می‌توان پارامترهای معادله نفوذ را محاسبه کرد (Chari et al., 2020b). در تحقیقی دیگر از فرآیند مقیاس‌سازی را برای ۱۹ معادله هم‌خانواده نفوذ ارائه شده در SIRMOD استفاده کردند. برای این منظور یکی از معادله‌های خانواده نفوذ به عنوان منحنی مرجع انتخاب و فاکتور مقیاس برای سایر معادله‌های خانواده نفوذ بدست آمد (Chari et al., 2020b). چاری و همکاران با استفاده از فرآیند مقیاس‌سازی و به کاربردن معادله نفوذ شاخه‌ای معادله موج سینماتیک برای آبیاری نواری را مقیاس کرده و معادله‌ای عمومی برای فاز پیشروی و پسروی ارائه کرد (Chari et al., 2019). با توجه به اینکه در پژوهش‌های قبلی معمولاً از معادله نفوذ

با:

$$Z = kt^\alpha + f_0 t \quad (11)$$

در روش الیوت و واکر فرض بر آن است که نفوذ پایه (f_0) در معادله کوستیاکف-لوئی از سایر روش‌ها مانند روش ورودی-خروجی محاسبه شده است. در نتیجه با معلوم بودن دبی ورودی، سطح مقطع جریان و داشتن زمان رسیدن آب برای دو نقطه از مزرعه امکان بدست آوردن پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لوئی میسر می‌باشد.

$$Q_z \cdot t = \bar{A}x + \sigma_z kt^\alpha x + \frac{f_0 t}{1+r} x \quad (12)$$

σ_z فاکتور شکل زیر سطحی که به وسیله کفیر (۱۹۵۶) ارائه شده است.

روش والیانسیس

والیانسیس و همکاران (Valiantzas et al., 2001) روش یک نقطه‌ای را برای محاسبه پارامترهای معادله نفوذ SCS ($z = kt^\alpha + c$) ارائه کرد. در این روش رابطه‌ای ریاضی بین ضرایب k و a پیشنهاد شده است، در نتیجه دو مجهول معادله به یکی کاهش می‌یابد. روش بدست آوردن پارامترهای معادله نفوذ SCS به وسیله والیانسیس بیان شده است. معادله بیلان برای این روش به صورت زیر است:

$$Q_z \cdot t = \bar{A}x + \sigma_z kt^\alpha x + cPx \quad (13)$$

روش میلپالی

میلپالی و همکاران (Mailapalli et al., 2008) روشی ساده برای تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوئی ارائه نمودند. در این روش از یک نقطه پیشروی و معادله بیلان حجم (معادله) استفاده شده است. جزئیات این روش در (Mailapalli et al., 2008) بیان شده است. معادلات اساسی این روش مانند روش دو نقطه‌ای است. مقدار فاکتور شکل زیر سطحی در این روش به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\sigma_z = 1 - \frac{ar}{(1+r)} + \frac{ar(\alpha-1)}{2(2+r)} \quad (14)$$

روش INFILT

یک بسته نرم افزار کامپیوتری که برای محاسبه پارامترهای نفوذ خاک با استفاده از فقط یک جریان طراحی شده است و داده‌ها را برآزش می‌دهد. بیشترین کاربرد را با استفاده از برنامه چهار یا بیشترین برآزش را برای اندازه‌گیری نقاط در طول مزرعه برای تعیین بهترین مقادیر مناسب برای سه تا از پارامترهای نفوذ α, k, f_0 معادله کوستیاکف-لوئی (McClymont and Smith, 1996)

$$x = pt^{0.5} \quad (5)$$

رابطه بیلان حجمی برای این روش به صورت زیر است:

$$Q_z \cdot t = \bar{A}x + \frac{\pi S}{4p} x^2 + \frac{2f}{3p^2} x^3 \quad (6)$$

با استفاده از زمان رسیدن به انتهای جویچه می‌توان پارامترهای معادله نفوذ را بدست آورد.

روش دونقطه‌ای ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۰)

ابراهیمیان و همکاران (Ebrahimian et al. 2010) روش یک-نقطه‌ای شپارد و همکاران (Shepard et al., 1993) را اصلاح کرده و روش دونقطه‌ای جدیدی برای تخمین پارامترهای معادله نفوذ فیلیپ ارائه کرده‌اند. تفاوت آن با روش یک-نقطه‌ای شپارد در آن است که به جای فرض $r=0.5$ مقدار آن همانند روش دونقطه‌ای الیوت و واکر (Elliot and Walker, 1982) از رابطه‌ی نمایی به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$x = pt^r \quad (7)$$

ابراهیمیان و همکاران (Ebrahimian et al. 2010) با اندازه-گیری زمان رسیدن آب به دو نقطه x_1 و x_2 از مزرعه، پارامترهای معادله نفوذ فیلیپ را از روابط زیر بدست آوردند:

$$A = \frac{([Q_2 t_2 - \bar{A}_2 x_2] x_1^{1+\frac{1}{2r}} - [Q_1 t_1 - \bar{A}_1 x_1] x_2^{1+\frac{1}{2r}}) (1+r) p^{1/r}}{x_2^{1+\frac{1}{r}} x_1^{1+\frac{1}{2r}} - x_2^{1+\frac{1}{2r}} x_1^{1+\frac{1}{r}}} \quad (8)$$

$$= \frac{2\Gamma(r+\frac{3}{2}) [Q_2 t_2 - \bar{A}_2 x_2 - (f x_2^{(1+\frac{1}{r})}) / ((1+r)p^{\frac{1}{r}})]}{\sqrt{\pi} \Gamma(r+1) x_2 (x_2/p)^{1/2r}} \quad (9)$$

مغفرتی و همکاران (Maghferati et al., 2021) معادله بیلان حجمی برای روش ابراهیمیان و همکاران را به صورت زیر ارائه کردند:

$$Q_z \cdot t = \sigma_y A_0 x + \frac{S}{p^{1/2r}} x^{\frac{1}{2r}+1} \cdot \sigma_{z1} + \frac{A}{p^{1/r}} \cdot \frac{x^{(1+r)/r}}{1+r} \quad (10)$$

σ_{z1} فاکتور شکل زیر سطحی که به وسیله مغفرتی و همکاران (۲۰۲۱) ارائه شده است. با معلوم بودن دبی ورودی، سطح مقطع جریان و داشتن زمان رسیدن آب به دو نقطه x_1 و x_2 از مزرعه می‌توان پارامترهای معادله نفوذ فیلیپ و پیشروی آب در مزرعه را بدست آورد.

روش دو نقطه‌ای

روش دو نقطه‌ای نخستین بار توسط الیوت و واکر (Elliot and Walker, 1982) برای حل معادله بیلان حجم و تعیین پارامترهای معادله کوستیاکف-لوئی پیشنهاد شده است. در این مدل معادله پیوستگی استفاده می‌شود. معادله نفوذ کوستیاکف-لوئی برابر است

می‌باشد. برنامه INFILT از معادلات اساسی مشابه روش دو نقطه‌ای استفاده می‌کند.

مقیاس‌سازی

در این تحقیق با کاربرد فرآیند مقیاس‌سازی و استفاده از یک منحنی مرجع و یک نقطه پیشروی پارامترهای معادله کوستیاکف-لویس را بدست آوردند. در این روش فاکتور مقیاس از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_s = \frac{Q \cdot t - \bar{A}x}{\int_0^x \frac{z}{z(t-t_s)} ds} \quad (15)$$

که در آن فاکتور مقیاس و k_r ، α_r و $f_{0,r}$ پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لویس برای منحنی مرجع است. روش ارائه شده به وسیله ختری و اسمیت (Khatari and Smith, 2006) برای هر یک از معادلات نفوذ بیان شده در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین همچنین تاثیر استفاده از زمان پیشروی L در مقایسه با استفاده از زمان $0.5L$ ارزیابی می‌شود.

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق به منظور ارزیابی روش ارائه شده از شش سری داده‌های آبیاری جویچه‌ای با بافت‌های و شرایط اولیه مختلف خاک استفاده شد. سه سری از این داده‌ها جویچه‌ها شامل Flowellwheel، Flowellnonwheel و Kimberly wheel به وسیله Walker and Busman (1990) گزارش شده است. جویچه Merkly توسط Merkly (1983) اندازه گیری شده است (Gillies SIRMOD). مشخصات جویچه Walker از نرم‌افزار (2008 Khatari استخراج شده است (Walker, 1989). و D3 به وسیله and Smith (2006) ارائه شده است. در این تحقیق برای محاسبه پارامترهای معادله نفوذ با استفاده از روش مقیاس‌سازی، به طور تصادفی جویچه Flowellwheel در بین جویچه‌ها به عنوان جویچه مرجع در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات داده های مورد استفاده

D3	Walker	Merkly	Kimberly wheel	Flowell non-wheel	Flowell wheel	پارامترها
-	-	Clay loam	Silty clay loam	Sandy loam	Sandy loam	نوع خاک
۰/۱۲۱	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۲	دبی (m ³ /m/min)
۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲۸	۰/۰۱۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	شیب (m/m)
۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	ضریب زبری
۱۲۰۰	۳۶۰	۲۲۵	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	طول (m)
پارامترهای هیدرولیکی مقطع						
۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۶۶۴	۰/۳۲۶	۰/۳۲۶	ρ_1
۲/۷	۲/۷۱	۲/۷	۲/۸۷۸	۲/۷۳۴	۲/۷۳۴	ρ_2

نتایج و بحث

شکل (۱) منحنی نفوذ تجمعی نسبت به زمان را برای روش‌های مختلف و شیارهای متفاوت نشان می‌دهد. متغیر بودن مقدار نفوذ تجمعی در مزارع مختلف نشان دهنده تغییرات زیاد پارامترهای نفوذ (وابستگی به نوع خاک) در این داده‌ها می‌باشد. نتایج شکل (۱) نشان می‌دهد که مقدار نفوذ بدست آمده با روش‌های مختلف محاسباتی، متفاوت است، که در تحقیقات مختلف دلیل این تفاوت را معادله بیلان به کار برده شده و فرضیات مربوط به هر یک از روش‌ها بیان کردند (Holzapfel et al., 2004). ختری و همکاران نشان دادند که روش infilt بیشترین تشابه را با روش دونقطه‌ای در بدست آوردن پارامترهای معادله نفوذ دارد. شکل (۱) مشخص می‌کند که مقدار نفوذ بدست آمده با روش Valiantzas et al (2001) به استثناء جویچه Merkly در سایر موارد بیشترین نزدیکی را با روش Mailapalli et

ارزیابی

برای ارزیابی روش‌های به کار برده شده در این تحقیق از شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد میانگین مطلق خطای پیش‌بینی (E_a) و ضریب تبیین (R^2) استفاده می‌گردد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_{0i} - T_{pi})^2}{N}} \quad (16)$$

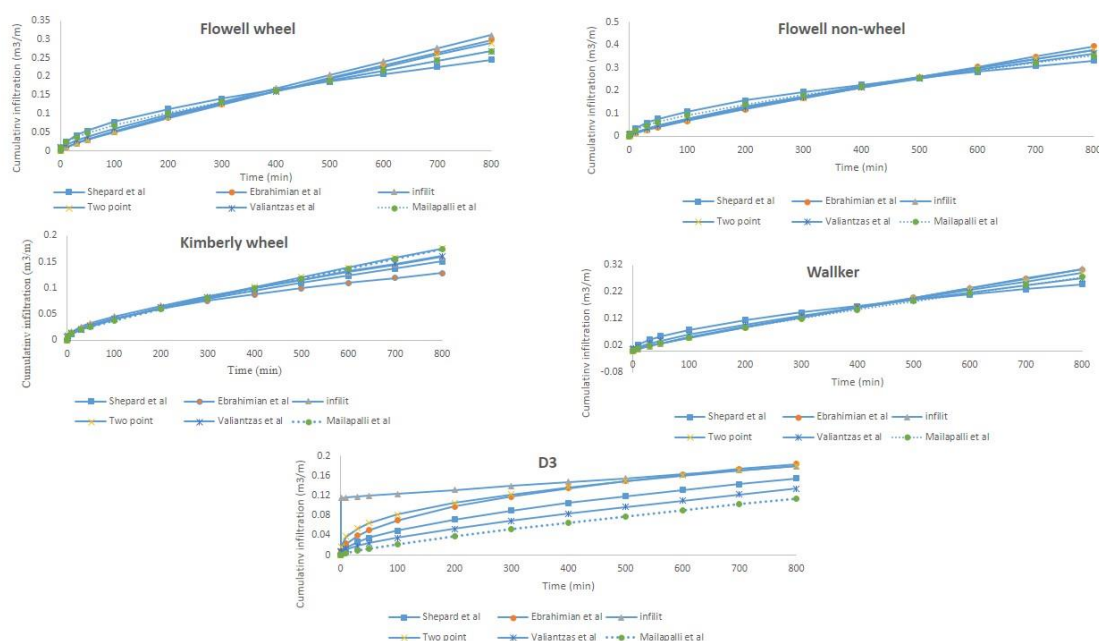
$$E_a = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|T_{0i} - T_{pi}|}{T_{0i}} \quad (17)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{N(\sum I_{0i} I_{pi}) - (\sum I_{0i})(\sum I_{pi})}{\sqrt{[N \sum I_{0i}^2 - (\sum I_{0i})^2]} \sqrt{[N \sum I_{pi}^2 - (\sum I_{pi})^2]}} \right\}^2 \quad (18)$$

که N تعداد داده‌ها، T_{0i} زمان پیشروی مشاهده شده در آبیاری-های مختلف و T_{pi} زمان پیشروی پیش‌بینی شده با استفاده از مدل برای آبیاری‌های مختلف می‌باشد.

مختلف محاسبه پارامترهای معادله فیلیپ مربوط به جویچه Merkly است به گونه‌ای که مقدار نفوذ تجمعی پس از ۸۰۰ دقیقه با استفاده از روش Shepard et al برابر با $0.391 \text{ (m}^3/\text{m)}$ و با استفاده از روش دونقطه‌ای ابراهیمیان برابر با $0.116 \text{ (m}^3/\text{m)}$ است. کمترین اختلاف بین روش یک نقطه‌ای و دو نقطه‌ای در محاسبه نفوذ تجمعی پس از ۸۰۰ دقیقه مربوط به جویچه‌های Kimberly wheel و D3 با مقدار 0.3 m بود. ابراهیمیان و همکاران (Ebrahimiyan et al., 2010) و مغفرتی و همکاران (Maghferati et al., 2021) برای تعدادی آبیاری جویچه‌ای و نواری نشان دادند که روش دونقطه‌ای جدید دارای دقت مناسبی در برآورد مشخصات نفوذ آب در خاک است.

al (2008) دارد (Khatari and Smith, 2005). در تمامی جویچه‌های مورد ارزیابی مقدار نفوذ بدست آمده با روش Valiantzas et al کمتر از مقدار نفوذ بدست آمده با استفاده از روش دو نقطه‌ای است و در سه جویچه Walker، Flowell nonwheel و Flowell wheel مقدار نفوذ بدست آمده در روش‌های مختلف بیشترین نزدیکی را با هم دارند و در جویچه Merkly در روش مختلف میزان نفوذ تفاوت‌های زیادی باهم دارند و با توجه به شکل ۱ در جویچه Flowell nonwheel بیشترین نزدیکی در مقدار نفوذ وجود دارد. در شکل (۱) مقدار نفوذ تجمعی بدست آمده با روش Shepard et al در مزارع Merkly و Kim (Ebrahimiyan et al., 2010) است و در سایر مزارع برعکس است. بیشترین اختلاف برای دو روش



شکل ۱- منحنی نفوذ تجمعی برای روش‌های مختلف در جویچه‌های متفاوت

اساس فاکتور مقیاس بدست آمده از رسیدن به انتهای جویچه برابر با $6/4$ است و نشان می‌دهد که در این جویچه استفاده از نقطه انتهایی باعث کاهش دقت شده است. بیشترین میانگین مربعات خطا (RMSE) را در هر دو حالت در جویچه D3 دارد. در جدول ۲ جویچه Kimberly wheel بر اساس فاکتور مقیاس بدست آمده از زمان رسیدن آب با انتهای جویچه با RMSE برابر با $4/1$ ، E_a برابر با $2/1$ و R^2 برابر با 0.99 دارای بهترین نتایج بود. میانگین مقدار RMSE و E_a برای ۵ جویچه جدول ۲ و زمان رسیدن آب به میانه جویچه به ترتیب برابر با $42/9$ و $10/3$ است و این مقادیر برای زمان رسیدن آب به انتهای جویچه به ترتیب برابر با 39 و $7/9$ است. مغفرتی و همکاران (Maghferati et al., 2021) برای معادله نفوذ کوستیاکف-

مقیاس‌سازی

به طور تصادفی جویچه Flowell wheel به عنوان جویچه مرجع در نظر گرفته شده و بر اساس این جویچه و مدت زمان رسیدن آب به میانه (0.5L) و انتهای جویچه (L) پارامترهای نفوذ برای روش‌های مختلف نفوذ به دست می‌آید. جدول‌های (۲) تا (۷) نتایج آماری پیشروی آب بر اساس معادلات نفوذ به دست آمده از مقیاس‌سازی و زمان رسیدن آب به میانه و انتهای جویچه را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ (روش دو نقطه‌ای) کمترین میزان میانگین مربعات خطا (RMSE) براساس فاکتور مقیاس بدست آمده از زمان رسیدن آب به میانه جویچه در Flowell non-wheel با مقدار $4/1$ است. مقدار RMSE در جویچه در Flowell non-wheel و بر

بر اساس زمان رسیدن آب به میانه برابر با $۴۶/۶$ و $۱۰/۱$ و بر اساس زمان رسیدن آب به انتهای جویچه برابر با $۴۱/۹$ و $۸/۱$ است. نتایج نشان می‌دهد که در روش infilt انتخاب نقطه میانه یا انتهایی تأثیری محسوسی در نتایج ندارد.

با توجه به جدول ۶ (روش والیانس) کمترین میزان میانگین مربعات خطا (RMSE) برای برآورد پارامترهای نفوذ برای هر دو زمان رسیدن آب به میانه و انتهای جویچه در جویچه Merkly به ترتیب با مقدار $۲/۷$ و $۲/۸$ اتفاق می‌افتد. بیشترین مقدار RMSE در هر دو حالت در جویچه D3 با مقادیر ۱۵۰ (برای نقطه میانی) و ۱۳۹ (برای نقطه انتهایی) است. بر اساس این نتایج به دلیل کمتر بودن میانگین خطا در جویچه Merkly نتایج بدست آمده در این جویچه بهتر و به واقعیت نزدیکتر است.

در روش میلپالی (با توجه به جدول ۷) کمترین میزان میانگین مربعات خطا (RMSE) برای برآورد پارامترهای نفوذ هم بر اساس زمان رسیدن آب به میانه جویچه و هم زمان رسیدن آب به انتهای جویچه در جویچه Merkly اتفاق می‌افتد. بیشترین مقدار RMSE را در دو حالت در جویچه D3 است. در روش میلپالی میانگین مقدار RMSE و E_a بر اساس زمان رسیدن آب به میانه جویچه به ترتیب $۷۳/۷$ و $۲۹/۴$ است و این مقادیر برای زمان رسیدن آب به انتهای جویچه به ترتیب برابر با $۴۱/۹$ و $۱۲/۸$ می‌باشد.

از مطالب بیان شده در این بخش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگرچه در تعدادی از جویچه‌ها و معادله‌های مختلف به کار برده شده برای نفوذ با استفاده از زمان رسیدن آب به میانه جویچه می‌توان نتیجه مطلوبی گرفت اما به طور کلی استفاده از نقطه انتهایی برای بدست آوردن پارامترهای معادله نفوذ دقت را افزایش می‌دهد. همچنین روش ابراهیمیان و همکاران (معادله بیلان اصلاح شده توسط مغفرتی و همکاران (Maghferati et al. 2021)) دارای بهترین نتایج بود. در روش infilt تفاوت محسوسی بین استفاده از نقطه میانی و نقطه انتهایی وجود ندارد.

لویس در آبیاری جویچه‌ای نشان دادند که که چنانچه از نقطه انتهایی برای برآورد فاکتور مقیاس استفاده شود دقت اندازه‌گیری افزایش می‌یابد.

با توجه به جدول ۳ (روش شپرد) کمترین میزان RMSE برای برآورد پارامترهای نفوذ بر اساس زمان رسیدن آب به میانه و بر اساس زمان رسیدن آب به انتهای جویچه Merkly به ترتیب با مقادیر $۱/۸۶$ و $۱/۹۹$ است. بیشترین RMSE بر اساس زمان رسیدن آب به میانه را در جویچه Walker با مقدار ۱۰۱ است. بیشترین RMSE بر اساس زمان رسیدن آب به انتهای جویچه، در جویچه D3 با مقدار ۷۸ است. مقدار E_a دارای بیشترین مقدار برابر با ۷۰ در جویچه Flowell non-wheel بر اساس فاکتور مقیاس بدست آمده از زمان رسیدن آب به میانه جویچه است. بر اساس این نتایج به دلیل کمتر بودن میانگین خطا در جویچه Merkly نتایج بدست آمده در این جویچه بهتر و به واقعیت نزدیکتر است.

جدول ۴ (روش (Ebrahimiyan et al., 2010)) نشان می‌دهد که کمترین میزان RMSE برای برآورد پارامترهای نفوذ بر اساس زمان رسیدن آب به میانه جویچه و بر اساس زمان رسیدن آب به انتهای جویچه مربوط به جویچه Merkly است و بیشترین RMSE را در دو حالت در جویچه D3 است و بر اساس این نتایج به دلیل کمتر بودن میانگین خطا در جویچه Merkly نتایج بدست آمده در این جویچه بهتر و به واقعیت نزدیکتر است. اگرچه هر دو روش شپرد و روش ابراهیمیان از معادله نفوذ فیلیپ استفاده می‌کند اما نتایج نشان می‌دهد که دقت روش ابراهیمیان بیشتر از روش شپرد است. مغفرتی و همکاران (Maghferati et al. 2021) نشان دادند که دقت روش ابراهیمیان از روش شپرد بیشتر است.

در جدول ۵ (روش (Infil)) کمترین میزان RMSE برای برآورد پارامترهای نفوذ که بر اساس زمان رسیدن آب به میانه در جویچه Flowell non-wheel و بر اساس زمان رسیدن آب به انتهای در جویچه Walker دارد. بیشترین میانگین مربعات خطا (RMSE) را در دو حالت مربوط به جویچه D3 است. میانگین مقدار RMSE و E_a

جدول ۲- نتایج آماری پیشروی آب در جویچه با استفاده از مقیاس‌سازی بر اساس روش دو نقطه‌ای

بر اساس زمان رسیدن آب به میانه						
	Flowell non-wheel	Kimberly wheel	Merkly	Walker	D3	میانگین
RMSE	۴/۱	۶/۶	۹/۱	۵/۹	۱۸۹	۴۲/۹
E_a	۳/۸	۴/۲	۸/۰	۵/۷	۳۰	۱۰/۳
R^2	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۸۱	۰/۹۴
بر اساس زمان رسیدن به انتهای						
RMSE	۶/۴	۴/۱	۵/۸	۴/۲	۱۷۵	۳۹
E_a	۳/۳	۲/۱	۵/۱	۲/۴	۲۷	۷/۹
R^2	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۸۶	۰/۹۶

جدول ۳- نتایج آماری پیشروی آب در جویچه با استفاده از مقیاس‌سازی بر اساس روش شپرد

بر اساس زمان رسیدن آب به میانه						
	Flowell non-wheel	Kimberly wheel	Merkly	Walker	D3	میانگین
RMSE	۹۹	۷/۵	۱/۸۶	۱۰۱	۹۰	۵۹/۸
E _a	۷۰	۷/۸	۷/۸۳	۴۹	۱۴	۲۹/۷
R ²	-۰/۹۳	-۰/۹۸	-۰/۹۹	-۰/۹۴	-۰/۹۶	-۰/۹۶
بر اساس زمان رسیدن به انتهای						
RMSE	۳۷	۴/۸	۱/۹۹	۵۸	۷۸	۳۵/۹
E _a	۲۲	۲/۵	۱/۷۷	۲۴	۱۳	۱۲/۶
R ²	-۰/۹۵	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۰/۹۵	-۰/۹۰	-۰/۹۵

جدول ۴- نتایج آماری پیشروی آب در جویچه با استفاده از مقیاس‌سازی بر اساس روش دو نقطه‌ای ابراهیمیان

بر اساس زمان رسیدن آب به میانه						
	Flowell non-wheel	Kimberly wheel	Merkly	Walker	D3	میانگین
RMSE	۵۳	۱۱	۷/۹	۴۱	۱۶۷	۵۵/۹
E _a	۳۵	۱۷	۷/۱	۲۶	۸۸	۳۴/۶
R ²	-۰/۹۸	-۰/۹۶	-۰/۹۱	-۰/۹۶	-۰/۸۹	-۰/۹۴
بر اساس زمان رسیدن به انتهای						
RMSE	۱۸	۹/۵	۲/۴	۲۹	۱۱۷	۳۵/۱
E _a	۷/۸	۱۱	۲/۲	۱۳	۳۰	۱۰/۲
R ²	-۰/۹۹	-۰/۹۷	-۰/۹۵	-۰/۹۶	-۰/۹۲	-۰/۹۵

جدول ۵- نتایج آماری پیشروی آب در جویچه با استفاده از مقیاس‌سازی بر اساس روش Infiltr

بر اساس زمان رسیدن آب به میانه						
	Flowell non-wheel	Kimberly wheel	Merkly	Walker	D3	میانگین
RMSE	۵/۷	۶/۶	۹/۶	۷/۵	۱۸۹	۴۳/۶
E _a	۴/۱	۲/۲	۸/۵	۴/۵	۳۱	۱۰/۱
R ²	-۰/۹۹	-۰/۹۴	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۰/۹۶	-۰/۹۷
بر اساس زمان رسیدن به انتهای						
RMSE	۸/۹	۴/۷	۶/۳	۳/۷	۱۸۶	۴۱/۹
E _a	۳/۳	۲/۱	۴/۹	۱/۶	۲۹	۸/۱
R ²	-۰/۹۹	-۰/۹۶	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۰/۹۰	-۰/۹۶

جدول ۶- نتایج آماری پیشروی آب در جویچه با استفاده از مقیاس‌سازی بر اساس روش والیانتنس

بر اساس زمان رسیدن آب به میانه						
	Flowell non-wheel	Kimberly wheel	Merkly	Walker	D3	میانگین
RMSE	۴۸	۲۶	۲/۷	۵۲	۱۵۰	۵۵/۷
E _a	۳۳	۱۳	۲/۴	۲۱	۱۳	۱۶/۵
R ²	-۰/۹۸	-۰/۹۸	-۰/۹۹	-۰/۹۸	-۰/۹۶	-۰/۹۷
بر اساس زمان رسیدن به انتهای						
RMSE	۱۹	۴/۷	۲/۸	۳۱	۱۳۹	۳۹/۳
SE	۱۳	۹	۲/۹	۱۳	۲۲	۱۱/۹
R ²	-۰/۹۸	-۰/۹۸	-۰/۹۹	-۰/۹۸	-۰/۹۰	-۰/۹۶

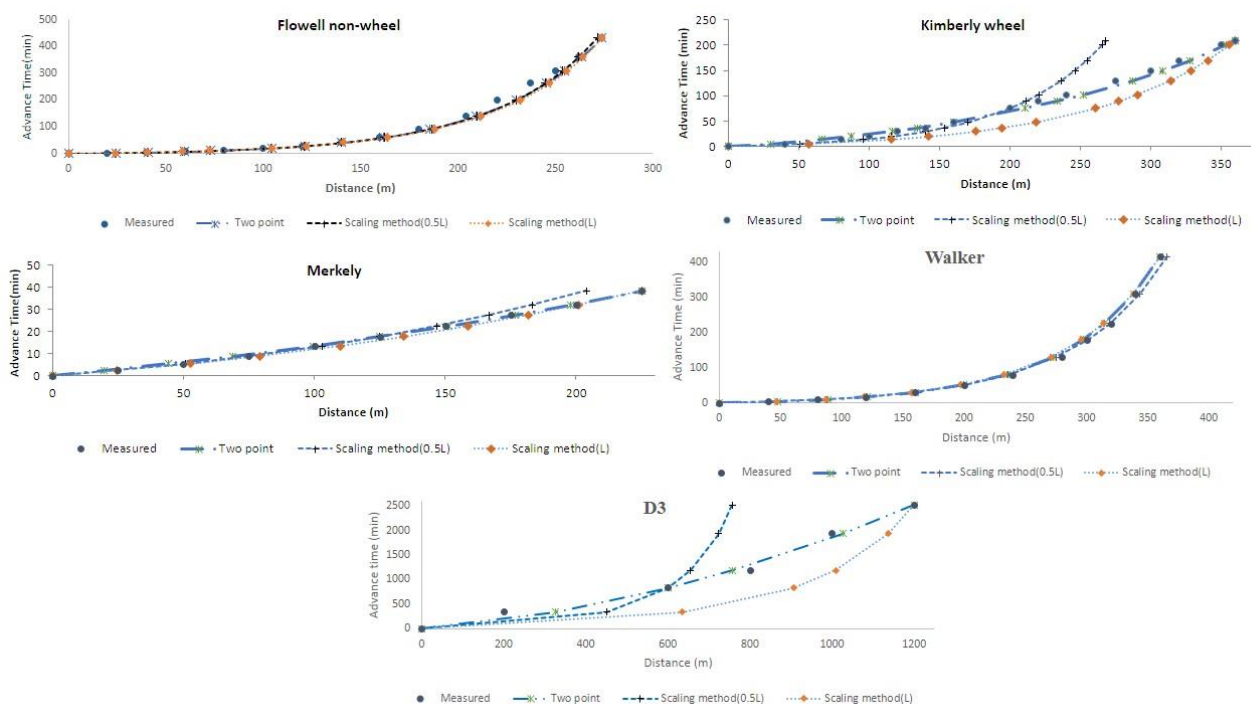
جدول ۷- نتایج آماری پیشروی آب در جویچه با استفاده از مقیاس سازی بر اساس روش میلپالی

بر اساس زمان رسیدن آب به میانه						
	Flowell non-wheel	Kimberly wheel	Merkly	Walker	D3	میانگین
RMSE	۹۹	۹/۹	۴/۷	۱۱۰	۱۴۵	۷۳/۷
E_a	۶۸	۵/۵	۳/۶	۴۵	۲۵	۲۹/۴
R^2	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۹۵
بر اساس زمان رسیدن به انتهای						
RMSE	۳۴	۷/۵	۴/۱	۵۱	۱۲۳	۴۱/۹
E_a	۲۳	۳/۹	۳/۲	۲۱	۲۳	۱۲/۸
R^2	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۹۴

پیشروی آب

برای درک بهتر نتایج، منحنی‌های پیشروی آب در جویچه‌های مختلف با استفاده از روش مقیاس سازی برای تعدادی از روش‌ها (روش‌های دونقطه‌ای، شپرد و میلپالی) در شکل‌های (۲) تا (۴) ارائه شده است. نتایج شکل (۲) و استفاده از روش دونقطه‌ای نشان می‌دهد که برای جویچه Flowell non-wheel در هر دو حالت برآورد فاکتور مقیاس بر اساس میانه و انتهای جویچه دارای دقت مناسب و نزدیک به یکدیگر هستند. در جویچه D3 برای هر دو حالت دارای خطا

زیادی می‌باشد و برای زمان رسیدن به میانه جویچه بیش‌برآورد و برای زمان رسیدن به انتهای جویچه کم‌برآورد پیش‌بینی کرده است. در این جویچه دقت تعیین پارامترهای نفوذ بر اساس زمان رسیدن به میانه بیشتر از زمان رسیدن به انتها است. در جویچه Merkly هر دو حالت استفاده از فاکتور مقیاس میانه و انتهای جویچه بیش-برآورد انجام داده است. برای جویچه Kimberly wheel براساس زمان رسیدن به میانه جویچه بیش‌برآورد و براساس زمان رسیدن به انتهای جویچه کم‌برآورد انجام شده است.



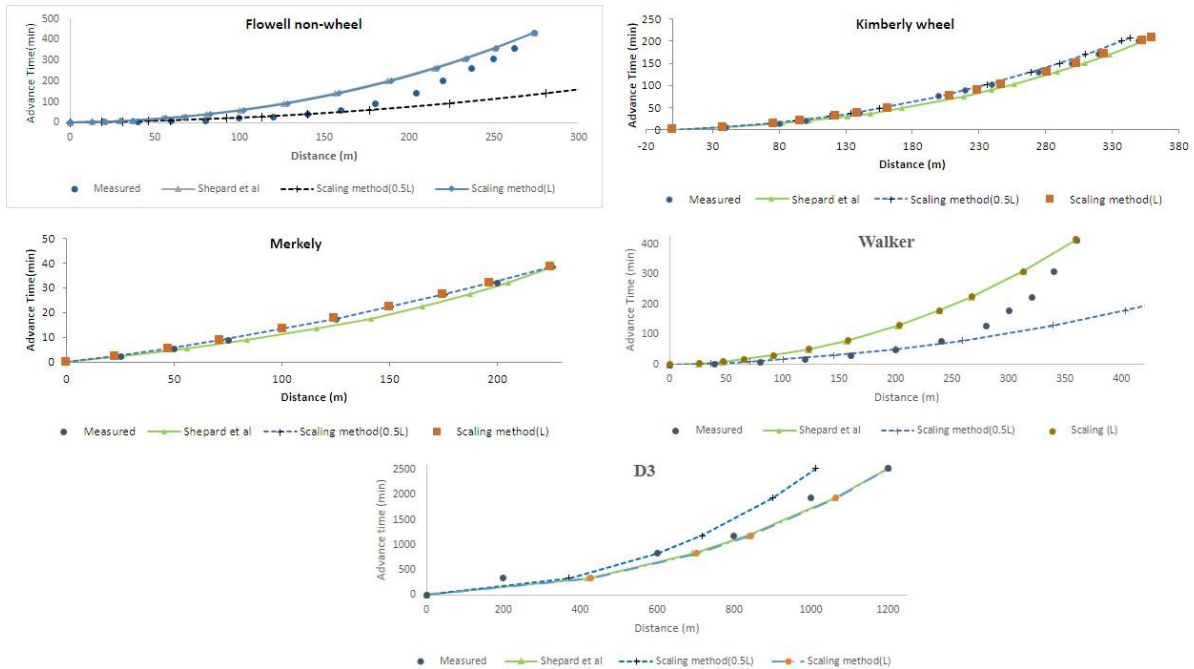
شکل ۲- منحنی پیشروی آب در جویچه با استفاده از مقیاس سازی و روش دونقطه‌ای

استفاده از نقطه میانی و استفاده از نقطه انتهایی افزایش یافته است. برای جویچه Flowell non-wheel و Walker استفاده از نقطه میانی باعث کم‌برآورد و استفاده از نقطه پایانی باعث بیش‌برآورد شده

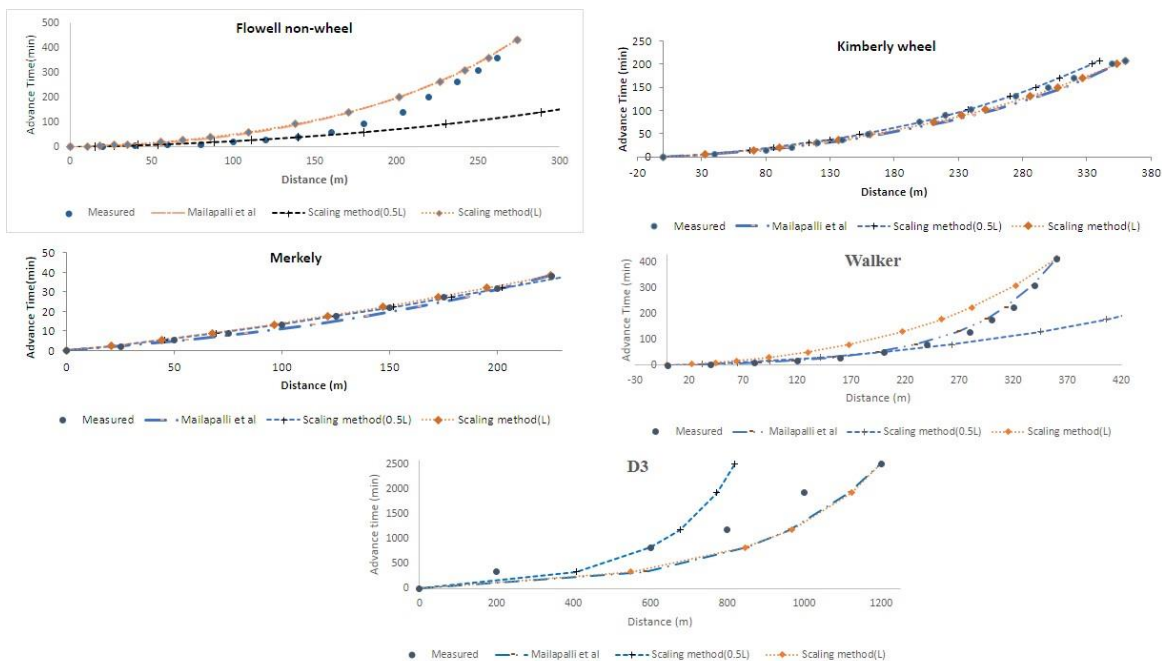
نتایج شکل (۳) و استفاده از روش شپرد نشان می‌دهد که جویچه Kimberly wheel دارای بهترین نتایج است. بر خلاف روش دونقطه‌ای دقت روش مقیاس سازی برای جویچه D3 در هر دو حالت

جویچه Flowell non-wheel و Walker استفاده از نقطه میانی دقت روش را کاهش داده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و بدست آمده از روش مقیاس‌سازی با استفاده از نقطه میانی قابل توجه است.

نتایج شکل (۴) و استفاده از روش میلاپالی نشان می‌دهد که برای جویچه Kimberly wheel و Merkly دقت این روش مناسب می‌باشد و تفاوت در استفاده از نقطه میانی یا انتهایی نمی‌باشد.



شکل ۳- منحنی پیشروی آب در جویچه با استفاده از مقیاس‌سازی و روش شپرد



شکل ۴- منحنی پیشروی آب در جویچه با استفاده از مقیاس‌سازی و روش میلاپالی

Drainage. 68: 476-487.

نتیجه گیری

- Chari, M.M., Poozan, M.T. and Afrasiab, P. 2020a. Modeling infiltration in surface irrigation with minimum measurement (study of USDA-NRCS intake families). *Modeling Earth Systems and Environment*. 7: 433-441.
- Chari, M.M., Poozan, M.T. and Afrasiab, P. 2020b. Modeling soil water infiltration variability using scaling. *Biosystem Engineering*. 196: 56-66.
- Childs, J., Wallender, W. W. and Hopmans, J. W. 1993. Spatial and seasonal variation of furrow infiltration. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 119(1), 74-90.
- Duan, R., Fedler, C.B. and Borrelli, J. 2011. Field evaluation of infiltration models in lawn soils. *Irrigation Science*. 29: 379-389.
- Ebrahimiyan, H., Liaghat, A., Ghanbarian-Alavijeh, B. and Fariborz A. 2010. Evaluation of various quick methods for estimating furrow and border infiltration parameters, *Irrigation Science*. 28 (6): 479-488.
- Ghorbani Dashtaki, S., Homaei, M., Mahdian, M.H. and Kouchakzadeh, M. 2009. Site dependence performance of infiltration models. *Water Resources Management*. 23: 2777-2790.
- Gillies, M. H. 2008. Managing the effect of infiltration variability on the performance of surface irrigation. PHD dissertation. University of Queensland.
- Green, W. H. and Ampt, G. A. 1911. Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. *Journal of Agricultural Sciences*. 4(1): 1-24.
- Guzmán-Rojo; D.P., Bautista, E., Gonzalez-Trinidad, J.G. and Bronson, K.F. 2019. Variability of furrow infiltration and estimated infiltration parameters in a macroporous Soil. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 145(2): 04018041.
- Holtan, H. N. 1961. Concept for infiltration estimates in watershed engineering. *USDA-ARS Bull*. 41-51.
- Horton, R. E. 1941. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. *Soil Science Society American Journal*. 5(C): 399-417.
- Khatri, K. L and Smith, R. J. 2006. Real-time prediction of soil infiltration characteristics for the management of furrow irrigation. *Irrigation Science*. 25(1), 33-43.
- Khatri, K.L. and Smith, R.J. 2005. Evaluation of methods for determining infiltration parameters from irrigation advance data. *Irrigation and Drainage*. 54:467-482.
- Lakzaianpour, G.H. Chari, M.M., Tabatabaei, S.M and Afrasiab, P. 2021. Scaling lognormal water retention curves for dissimilar soils. *Hydrological Science*

در این تحقیق روش مقیاس‌سازی ختری و اسمیت (Khatari and Smith; 2006) برای مقیاس‌سازی معادله نفوذ در آبیاری جویچه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. برخلاف تحقیق ختری و اسمیت (Khatari and Smith; 2005) که فقط از معادله نفوذ کوستیاکف-لوئیس و روش الیوت و واکر استفاده شده بود، در این پژوهش علاوه بر روش الیوت و واکر از روش‌های ابراهیمیان و همکاران، شپرد، والیانته، infiltr و میلاپالی استفاده گردید. نتایج نشان داد که شکل منحنی نفوذ مقیاس‌شده و واقعی بسیار به هم شبیه بودند و مقادیر بسیار نزدیک به نفوذ واقعی دارد. اگرچه در تعدادی از جویچه‌ها و روش‌های نفوذ استفاده از نقطه میانی دقت برآورد را افزایش داده اما به طور کلی استفاده از زمان رسیدن آب به انتهای مزرعه باعث افزایش دقت برآوردها در روش مقیاس‌سازی می‌شود. روش ابراهیمیان و همکاران دارای بیشترین دقت بود. در بسیاری از موارد مقادیر نفوذ بدست آمده براساس رسیدن آب به میانه جویچه زمان پیشروی را کم‌برآورد پیش‌بینی می‌کند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با کد پژوهانه UOZ-GR-7644 انجام شد که بدین‌وسیله از آن تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- قبادی، م. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۴. برآورد نفوذ در آبیاری جویچه‌های یک در میان ثابت و یک در میان متغیر با استفاده از روش مقیاس‌سازی. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*. ۱۶ (۲): ۱۳-۲۴.
- Ahuja, L.R. and Williams, R.D. 1991. Scaling water characteristics and hydraulic conductivity based on Gregson-Hector-McGowab approach. *Soil Science Society of America Journal*. 55: 308-319.
- Babaei, F., Zolfaghari, A.S., Yazdani, M.R. and Sadeghipour, A. 2018. Spatial analysis of infiltration in agricultural lands in arid areas of Iran. *Catena*. 170: 25-35.
- Bautista, E. and Wallender, W.W. 1985. Spatial variability of infiltration in furrows. *Transaction of the ASAE*. 28: 1846-1851.
- Chari, M.M., Davari, K., Ghahraman, B. and ziaiei, A. N. 2019. General equation for advance and recession of water in border irrigation. *Irrigation and*

- Irrigation and Drainage Engineering. 128(1): 26-33.
- Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration: 3. Moisture profiles and relation to experiment. Soil Science. 84(2), 163-178.
- Shepard, J. S., Wallender, W.W. and Hopmans, J. W. 1993. One-point method for estimating furrow infiltration. Transaction of the ASAE. 36(2): 395–404.
- Tuli, A., Kosugi, K. and Hopmans, J.W. 2001. Simultaneous scaling of soil water retention and unsaturated hydraulic conductivity functions assuming lognormal pore-size distribution. Advances in Water Resources. 24: 677-688.
- Valiantzas, J.D, Aggelides S. and Sasselou, A. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. Agricultuer Waterer Management. 52:17–32.
- Vogel, T., Cislerova, M. and Hopmans, J.W. 1991. Porous media with linearly hydraulic properties. Water Resources Research. 27(10): 2735-2741.
- Journal. 66(4): 622–629.
- Langat, P. K. Smith, R.J. and Raine, S. R. 2008. Estimating the furrow infiltration characteristics from a single advance point. Irrigation Science. 26(5): 367-374.
- Lewis, M. R. and Milne, W.E. 1938. Analysis of border irrigation. Agricultural Engineering. 19(6): 267–272.
- Maghferati, H.R. Chari, M.M. Afrasiab, P and Delbari, M. 2021. Investigation of various volume–balance methods in surface irrigation. Arabian Journal of Geosciences. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06505-9>.
- Mailapalli, D.R., Wallender, W.W. Raghuwanshi, N.S. and Singh, R. 2008. Quick method for estimating furrow infiltration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 134(6):788–795.
- McClymont, D.J. and Smith, R.J. 1996. Infiltration parameters from optimization on furrow irrigation advance data. Irrigation Science. 17(1):15–22.
- Oyonarte, N. A., Mateos, L and Palomo, M. J. 2002. Infiltration variability in furrow irrigation. Journal of

Evaluation of One-Point Method in Estimating Infiltration Characteristics (Scaling Method)

M Bazi¹, M. M. Chari^{2*}, P. Delbari³

Received: Oct.07, 2022

Accepted: Nov.18, 2022

Abstract

Infiltration in the soil is one of the determining parameters in irrigation, which affects all factors related to irrigation evaluation. On the other hand, spatial and temporal variability of infiltration parameters are a major physical limitation in managing and achieving high application efficiency of surface irrigation. The objective of the present study is to evaluate scaling method in estimating the infiltration equation parameters in furrow irrigation based on Elliott-Walker, Shepard et al., Ebrahimian et al., infilt, Valiants and Milapali methods, and also to evaluate the accuracy of the middle point and end point for the scale process. For this purpose, a reference infiltration curve is considered and then using the time of to reach the middle and end of the furrow, the scale factor of that furrow is obtained. In this research, the measured data for six furrows with soil texture and different input data were considered. According to the results, if the furrow end point is used to calculate the scaling factor in the Scaling method, the accuracy of this method will be significantly increased. Based on the evaluation, Ebrahimian's method had the best results. In the infilt method, there is no noticeable difference between using the middle point and the end point. In many cases, using the middle point in order to obtain the parameters of the penetration equation overestimates the advance value. The simplicity of the one-point scaling method is one of the advantages of this method in comparison with other methods of obtaining penetration parameters.

Key words: irrigation, Scaling, infiltration, Furrow.

1- Msc student, Department of Water Engineering, Water Engineering Department, University of Zabol, Zabol, Iran

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran

(*-Corresponding Author Email: mmahdichari@uoz.ac.ir)