

## بررسی دقت تخمین پارامترهای معادله نفوذ بر اساس ویژگی‌های فیزیکی خاک در آبیاری جویچه‌ای

بیتا مروج‌الاحکامی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۶)

### چکیده

آبیاری جویچه‌ای یکی از معمول‌ترین روش‌های آبیاری سطحی است. با این وجود، تخمین دقیق معادله نفوذ آب به خاک، مهم‌ترین چالش در ارزیابی این روش آبیاری است. در این مطالعه، روش ساده و سریع گروه نفوذ ارائه شده توسط NRCS-USDA (RSIF) بر مبنای ویژگی‌های فیزیکی خاک، در تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لویس ارزیابی شد. همچنین، روش مذکور بر مبنای شرایط حاکم بر آبیاری و با لحاظ ویژگی‌های فیزیکی خاک توسعه یافت (D-RSIF). دو تیمار آبیاری شامل جریان ورودی ثابت و متغیر با چهار تکرار آزمایش و مراحل مختلف آبیاری شامل پیشروی، ذخیره و پسروی با کاربرد مدل اینرسی-صفر توسعه یافته و استفاده از دو روش RSIF و D-RSIF، شبیه‌سازی شدند. نتایج نشان داد که تفاوت پیشروی و رواناب شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل اینرسی-صفر در روش‌های RSIF و D-RSIF در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در تیمار جریان ورودی متغیر، خطای برآورد حجم رواناب به‌طور متوسط در روش RSIF، D-RSIF، و اسنجی چندمرحله‌ای و دو نقطه به ترتیب برابر با ۱۰، ۶، ۱۲ و ۴۱ درصد بود. همچنین خطای برنامه‌ریزی آبیاری، بر اساس ویژگی‌های فیزیکی خاک ۱۴ (RSIF) درصد بود که این به مفهوم مصرف آب، بیشتر از حد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: نفوذ، ویژگی‌های فیزیکی خاک، آبیاری جویچه‌ای، مدل اینرسی-صفر

۱. بخش خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: b.moravej@areeo.ac.ir

## مقدمه

آبیاری جویچه‌ای به دلیل کاربرد آن در گستره وسیعی از انواع خاک، گیاه و شیب مزرعه یکی از معمول‌ترین روش‌های آبیاری سطحی است (۱۵، ۲۲ و ۲۳). با این وجود، مهم‌ترین چالش در طراحی و ارزیابی آبیاری جویچه‌ای، تخمین هرچه دقیق معادله نفوذ آب به خاک است (۵ و ۷). مدل‌های بهینه‌سازی متفاوتی به منظور تخمین معادله نفوذ در آبیاری سطحی کاربرد دارند که باید بر اساس شرایط مزرعه و هیدرولیک آبیاری واسنجی شوند (۱۰ و ۱۶). برخی از این مدل‌های بهینه‌سازی، مبتنی بر داده‌های پیشروی اندازه‌گیری شده در مزرعه است (۵ و ۱۲) و برخی دیگر بر اساس ترکیبی از داده‌های پیشروی و رواناب، در طول مراحل آبیاری، ارائه شده است (۷، ۱۹ و ۲۰). ساده‌ترین روش، برای تخمین معادله نفوذ در آبیاری جویچه‌ای، روش دونقطه است که نیاز به داده ورودی کم دارد (۴، ۷، ۸ و ۹). اگرچه برخی از مطالعات مزرعه‌ای، بر دقت مناسب روش‌های تخمین نفوذ بر مبنای داده‌های پیشروی از جمله روش دونقطه، تأکید دارند (۱، ۱۴، ۵ و ۲۱)، ولی باتوجه به اینکه فاز پیشروی، بخش کوچکی از زمان آبیاری است، پارامترهای نفوذ به دست آمده با این روش، قادر به بیان نفوذ به شکل واقعی در طول آبیاری نیست (۶). از سوی دیگر، تکنیک‌های مبتنی بر داده‌های پیشروی به شدت تحت تأثیر تغییرات دبی جریان ورودی است (۳ و ۱۸). در مطالعات اخیر، مدل‌های دقیق بهینه‌سازی بر اساس داده‌های پیشروی، پسروی و رواناب توسعه یافته است. یکی از روش‌های مذکور در تخمین دقیق معادله نفوذ کوستیاکف-لویس، روش واسنجی چندمرحله‌ای است که در مقایسه با روش دونقطه، شکل هیدروگراف جریان خروجی را با دقت بیشتری برآورد می‌کند (۱۷ و ۲۴). از معایب این روش می‌توان به لزوم مشاهدات رواناب در هر گره زمانی و زمان‌بر بودن فرایند واسنجی اشاره کرد. همچنین روش بهینه‌سازی بیلان حجم، مبتنی بر مشاهدات پیشروی و رواناب، دقت قابل قبولی در برآورد عملکرد آبیاری دارد (۷، ۸ و ۱۳). در مطالعات اخیر، به لزوم اصلاح معادلات نفوذ با در نظر داشتن شرایط

آبیاری تأکید شده است که منجر به افزایش دقت برآورد شاخص‌های هیدرولیکی آبیاری جویچه‌ای خواهد شد (۲، ۱۱ و ۲۶). با توجه به اینکه بخش وسیعی از اراضی کشور به صورت سطحی و عموماً به شیوه جویچه‌ای آبیاری می‌شوند و باتوجه به اجتناب‌ناپذیر بودن اجرای این روش‌های آبیاری، در برخی مزارع به دلیل محدودیت‌های محیطی و کیفیت آب آبیاری، ضرورت دارد نسبت به بهبود برنامه‌ریزی و مدیریت دقیق این روش آبیاری اقدامات لازم صورت پذیرد. نرم‌افزارهای ارائه شده به منظور برنامه‌ریزی مناسب آبیاری سطحی، نیازمند اطلاعات نفوذ آب به خاک به عنوان مهم‌ترین پارامتر تعیین‌کننده در برنامه‌ریزی آبیاری سطحی است. از طرف دیگر روش‌های بهینه‌سازی ارائه شده در تخمین معادله نفوذ آب به خاک، در آبیاری سطحی پیچیده و زمان‌بر هستند و در غیاب مشاهدات مزرعه دقت قابل قبولی ندارند. به منظور ساده‌سازی تخمین معادله نفوذ در آبیاری سطحی، سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا (USDA-NRCS) روشی ساده و سریع، مبتنی بر ویژگی‌های خاک مزرعه، با عنوان گروه نفوذ را ارائه کرده است. در این روش ساده با توجه به بافت خاک مزرعه آزمایشی و با توجه به جداول ارائه شده، معادله نفوذ آب به خاک، تخمین زده می‌شود (۲۵). اما این روش، به دلیل عدم لحاظ شرایط آبیاری، دقت قابل قبولی در برآورد پارامترهای معادله نفوذ آبیاری سطحی را ندارد. برای بهبود دقت روش مذکور، پارامتر محیط خیس شده جویچه به عنوان پارامتر مؤثر بر نفوذ آب به خاک در روش آبیاری جویچه‌ای در نظر گرفته شد و با اصلاح روش مذکور، روش گروه نفوذ اصلاح شده (که در این مطالعه به اختصار RSIF نامیده می‌شود) ارائه شد (۲۵). هدف از این مطالعه بررسی دقت روش ساده "گروه نفوذ" مبتنی بر اطلاعات خاک (RSIF) برای ارزیابی و برنامه‌ریزی آبیاری جویچه‌ای، در شرایط اعمال جریان ورودی ثابت و متغیر است. همچنین روش ارائه شده با لحاظ هیدرولیک جریان شامل داده‌های پیشروی (به منظور لحاظ فاز پیشروی)، حجم رواناب و داده‌های پسروی (به منظور لحاظ فاز پسروی و ذخیره) توسعه و مورد ارزیابی قرار گرفت (D-RSIF).

## مواد و روش‌ها

روش گروه نفوذ (RSIF) و روش گروه نفوذ توسعه یافته (D-RSIF) روش گروه نفوذ به منظور ارزیابی آبیاری جویچه‌ای در غیاب داده‌های مزرعه در شرایط اعمال جریان ورودی ثابت و سرج و در آبیاری‌های اولیه و بعدی ارائه شده است. در این روش پارامترهای مرجع معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس ( $f_{ref}$  و  $K_{ref}$ ,  $a_{ref}$ ) با استفاده از شماره گروه نفوذ ارائه شده (Fn) به صورت زیر بیان می‌شوند (۲۵):

$$Z = Kt^a + f_0 t \quad (1)$$

$$a_{ref} = \frac{0/1571 + 2/5739 \times Fn}{1 + 3/6940 \times Fn - 0/1149 \times Fn^2} \quad (2)$$

$$K_{ref} = 0/00247 (Fn + 0/00319)^{0/5817} \quad (3)$$

$$f_{0ref} = 0/000454 \left( 1/0149 - e^{(-0/5596 \times Fn)} \right) \quad (4)$$

که در این روابط Z: نفوذ تجمعی ( $m^3/m$ )، t: فرصت زمان نفوذ (min)، K و a: پارامترهای معادله نفوذ،  $f_0$ : سرعت نفوذ پایه ( $m^3/min/m$ )، Fn: شماره گروه نفوذ بر اساس طبقه‌بندی بافت خاک ارائه شده توسط USDA-NRCS است (۲۵).

دبی جریان ورودی مرجع ( $Q_{ref}$ ) با توجه به شماره گروه نفوذ به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Q_{ref} = 0/432 + 1/79 \times Fn - 0/225 \times Fn^2 \quad (5)$$

برای تعدیل پارامترهای نفوذ،  $W_{Pref}$  (محیط خیس شده مرجع) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$W_{Pref} = 0/298 \times (Fn - 0/1417)^{0/548} \quad (6)$$

بنابراین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس به صورت زیر تعدیل می‌شوند:

$$a = ICF \times a_{ref} \quad (7)$$

$$K = ICF \times K_{ref} \times \left[ \frac{W_{Pa}}{W_{Pref}} \right] \quad (8)$$

$$f_0 = ICF \times f_{0ref} \times \left[ \frac{W_{Pa}}{W_{Pref}} \right] \quad (9)$$

که در این روابط ICF: فاکتور شرایط آبیاری و  $W_{Pa}$ : محیط خیس شده جویچه تعیین شده در مزرعه است.

در این مطالعه به منظور لحاظ هیدرولیک آبیاری در کنار ویژگی‌های خاک مزرعه، روش گروه نفوذ توسعه یافته (D-RSIF) ارائه شد که در این روش پارامترهای Fn و ICF بر اساس مشاهدات مزرعه واسنجی شدند. در ابتدا شماره گروه نفوذ (Fn) برای جریان ورودی ثابت و سپس پارامتر ICF به منظور لحاظ تغییرات جریان ورودی بر اساس مشاهدات مزرعه شامل داده‌های پیشروی، پسروی و حجم رواناب واسنجی شدند. تابع هدف در این روش به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{objectivefunction} = (V_{r0} - V_{rm}) \quad (10)$$

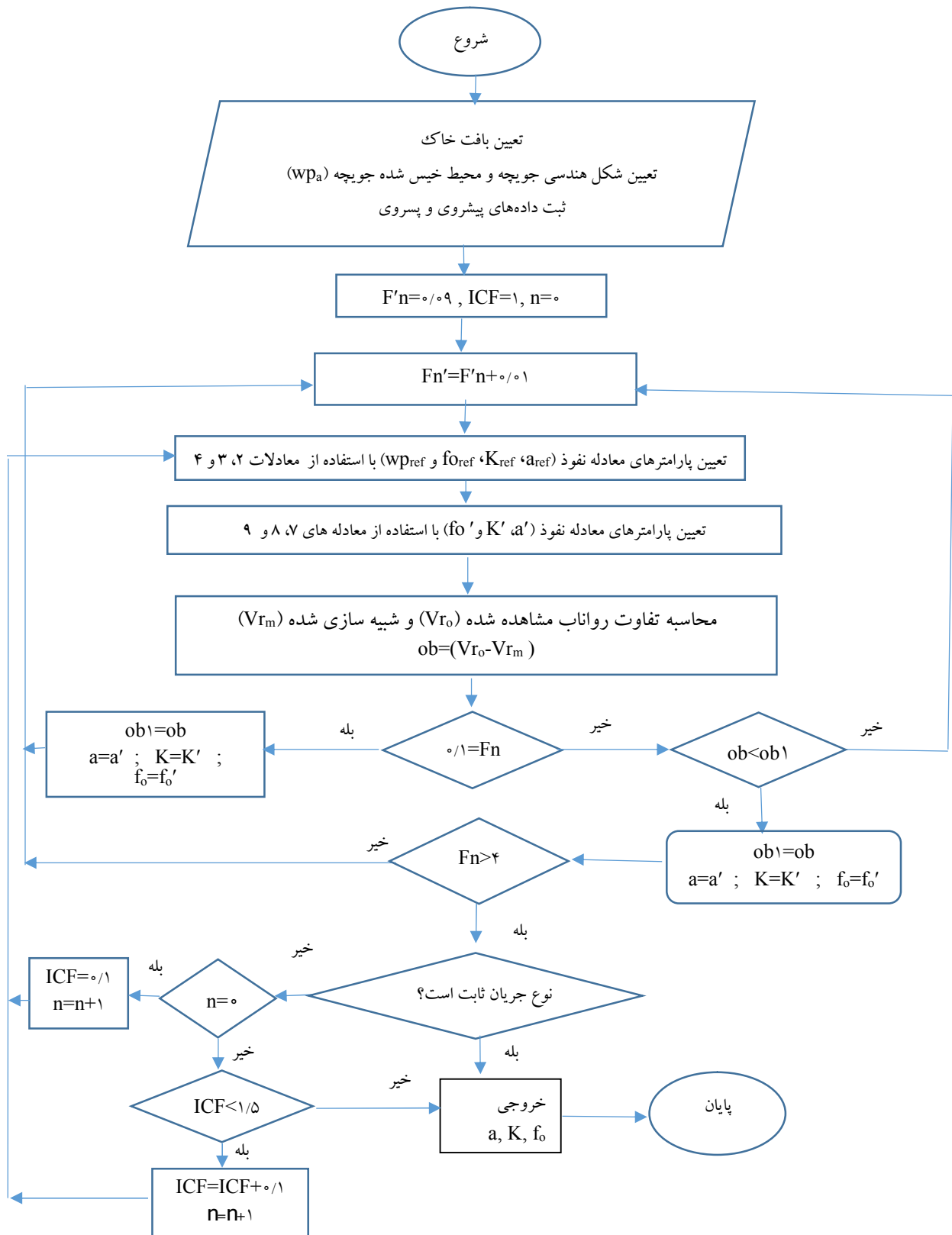
که در این رابطه  $V_{r0}$ : حجم رواناب مشاهده شده و  $V_{rm}$ : حجم رواناب تخمین زده شده است.

همچنین مدل اینرسی-صفر به منظور شبیه‌سازی مراحل متفاوت آبیاری جویچه‌ای، برای شرایط تغییر جریان ورودی توسعه یافت. در این مدل از روش حجم کنترل تغییرپذیر و خطی‌سازی معادلات پیوستگی و مومنتم (با توسعه سری تیلور) استفاده شده است. در شکل (۱) فلوچارت تخمین معادله نفوذ به روش گروه نفوذ توسعه یافته ارائه شده است.

### صحت‌سنجی

به منظور صحت‌سنجی روش گروه نفوذ توسعه یافته در این مطالعه، از داده‌های آبیاری جویچه‌ای در مزرعه آزمایشی واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان (۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۸۰ متر از سطح دریا) استفاده شد. مزرعه آزمایشی بدون پوشش گیاهی بود و برای اولین بار آبیاری شد. در جدول (۱) ویژگی‌های خاک و جویچه در مزرعه آزمایشی ارائه شده است. طول جویچه‌ها و فاصله بین جویچه‌ها به ترتیب ۵۰ متر و ۰/۷ متر بود. پارامترهای شکل هندسی جویچه با استفاده از دستگاه مقطع‌سنج جویچه تعیین شد که مقادیر آن در جدول (۱) ارائه شده و معادلات آن به شرح زیر است (۲۲):

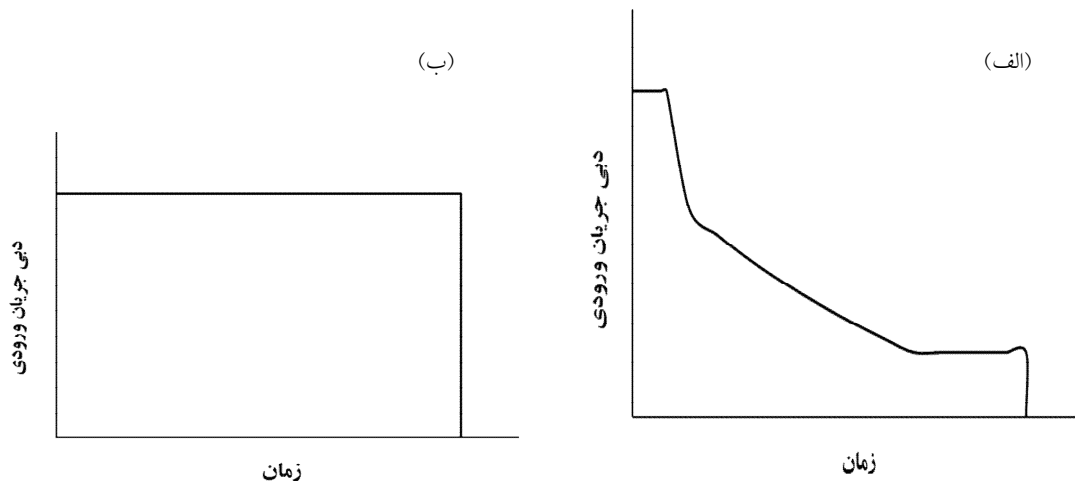
$$A = \sigma_y \sigma_z \quad (11)$$



شکل ۱. نمایی از تخمین معادله نفوذ به روش D-RSIF برای جریان ورودی ثابت و متغیر

جدول ۱. ویژگی‌های مزرعه آزمایشی برای صحت‌سنجی روش گروه نفوذ توسعه‌یافته (D-RSIF)

محیط خیس شده جویچه		سطح هندسی جویچه		بافت خاک	شیب مزرعه (m/m)	دانسیته ظاهری خاک (g/cm <sup>3</sup> )	طول جویچه (m)	رطوبت اولیه خاک (%)
$\gamma_2$	$\gamma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_1$					
۰/۵۶	۱/۷۹	۱/۴۰۸	۰/۷۷	لوم شنی	۰/۰۰۵	۱/۲۴	۵۰	۷/۴۵



شکل ۲. نمایی از الگوی جریان آب ورودی به جویچه‌های آزمایشی: الف) تیمار جریان ورودی ثابت و ب) تیمار جریان ورودی متغیر

ایستگاه‌بندی شدند و زمان‌های پیشروی و پسروی در هر ایستگاه در طول جویچه ثبت شد. جریان ورودی به جویچه و جریان خروجی از جویچه در تیمارهای مورد آزمایش با استفاده از فلوم نصب شده در ابتدا و انتهای جویچه اندازه‌گیری شد.

#### مقایسه روش گروه نفوذ با روش واسنجی چندمرحله‌ای و روش دونقطه

به‌منظور بررسی دقت روش گروه نفوذ ارائه شده توسط USDA-NRCS و روش گروه نفوذ توسعه‌یافته در این مطالعه، این روش‌ها از نظر دقت و سادگی اجرا با روش دقیق واسنجی چندمرحله‌ای و روش ساده دونقطه مقایسه شدند.

#### روش واسنجی چندمرحله‌ای

یکی از روش‌های دقیق برآورد نفوذ آب به خاک در آبیاری جویچه‌ای روش واسنجی چندمرحله‌ای است که در آن پارامترهای

$$WP = \gamma_1 \gamma_2 \quad (12)$$

که در این روابط  $\gamma$ : عمق آب (m)، A: سطح مقطع هندسی جویچه (m<sup>2</sup>)، WP: محیط خیس شده جویچه (m) و  $\gamma_1, \gamma_2, \sigma_1, \sigma_2$ : ثواب تجربی است.

تیمارهای آزمایشی شامل جریان ورودی ثابت با چهار تکرار و جریان ورودی متغیر با چهار تکرار بود. در هر یک از تیمارهای مورد آزمایش، یک تکرار برای واسنجی پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس و سه تکرار دیگر به‌منظور صحت‌سنجی روش مذکور استفاده شد. در تیمار جریان ثابت، دبی جریان ورودی به جویچه ثابت و برابر با ماکزیمم دبی غیرفرسایشی بود. در تیمار جریان ورودی متغیر، دبی جریان ورودی در فاز پیشروی ثابت و برابر با ماکزیمم دبی غیرفرسایشی بود و بعد از تکمیل فاز پیشروی با استفاده از شیرکنترل اتوماتیک طراحی شده به‌صورت تدریجی کاهش یافت (شکل ۲). حجم آب کاربردی برای تیمارهای آزمایشی یکسان در نظر گرفته شد. جویچه‌های مورد آزمایش

مقطع متوسط در زمان  $t_{0.5L}$  است.

## نتایج

مقایسه روش گروه نفوذ توسعه یافته (D-RSIF) و روش گروه

نفوذ ارائه شده توسط USDA-NRCS (RSIF)

بر مبنای بافت خاک مزرعه آزمایشی (جدول ۱) (مزرعه آزمایشی واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان (۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۸۰ متر از سطح دریا)، شماره گروه نفوذ (Fn)، در روش گروه نفوذ (RSIF) بر اساس جداول USDA-NRCS، ۹/۰ است (۲۵). در روش گروه نفوذ توسعه یافته، پارامتر Fn با استفاده از داده‌های پیشروی، پسروی و رواناب مشاهده شده در مزرعه و با استفاده از تابع هدف (معادله ۱۰) واسنجی شد. پارامتر ICF (فاکتور شرایط آبیاری) متأثر از دبی جریان ورودی به جویچه است، لذا این پارامتر برای تیمار جریان ورودی ثابت و در آبیاری اول برابر با یک در نظر گرفته شد (۲۵). در تیمار جریان ورودی متغیر به دلیل کاهش دبی جریان ورودی بعد از تکمیل فاز پیشروی از یک طرف و تأثیر تغییرات دبی جریان ورودی بر نفوذ از طرف دیگر، پارامتر ICF نیز با توجه به مشاهدات مزرعه واسنجی شد (۳ و ۱۸). در جدول (۲) برآورد پارامترهای نفوذ معادله کوستیاکف-لویس با استفاده از دو روش RSIF و D-RSIF ارائه شده است. با توجه به اینکه روش RSIF مبتنی بر ویژگی‌های خاک مزرعه است و در این شیوه، پارامترهای هیدرولیکی از جمله، تغییر جریان ورودی به جویچه لحاظ نمی‌شود، پارامترهای معادله نفوذ تخمینی با این روش در مزرعه آزمایشی، برای دو تیمار جریان ورودی ثابت و متغیر با توجه به بافت خاک مزرعه آزمایشی یکسان لحاظ شده است. اما در روش D-RSIF به دلیل تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لویس بر مبنای ویژگی‌های خاک و لحاظ تغییرات جریان آب ورودی به جویچه، این پارامترها برای تیمار جریان ورودی ثابت و متغیر، متفاوت است. آنالیز حساسیت پارامترهای

معادله نفوذ کوستیاکف-لویس (a، K و  $f_0$ ) و ضریب زبری مانینگ بر اساس مشاهدات مزرعه واسنجی می‌شوند (۲۴). مراحل واسنجی به روش مذکور به شرح زیر است:

مرحله اول: تعیین K بهینه با مقادیر فرض شده اولیه a،  $f_0$  و n در شرایطی که تفاضل زمان پیشروی محاسبه شده و مشاهده شده در انتهای جویچه حداقل باشد، مرحله دوم: تعیین  $f_0$  بهینه با مقادیر فرض شده اولیه a، n و مقدار بهینه K در مرحله اول، در شرایطی که ریشه تفاضل مربعات برای مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده رواناب در هر نقطه از زمان حداقل باشد، مرحله سوم: تعیین a بهینه با استفاده از مقدار فرض اولیه n و مقادیر بهینه شده  $f_0$  و k در شرایطی که ریشه تفاضل مربعات برای مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده رواناب در هر نقطه از زمان حداقل باشد و مرحله چهارم: تعیین n بهینه با استفاده از مقادیر بهینه شده  $f_0$  و K، a در شرایطی که تفاضل زمان پسروی محاسبه شده و مشاهده شده تا انتهای جویچه حداقل باشد (۲۴).

## روش دونقطه

روش دونقطه بر اساس کاربرد معادله بیلان حجم و بعد از انجام آزمایش‌های متعدد نفوذ، با استفاده از داده‌های مزرعه در دونقطه وسط و انتهای جویچه به منظور تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف ارائه شده است. معادلات ارائه شده برای دو نقطه مذکور به شرح زیر است (۲۲):

$$V_L = \left( \frac{Q_0 t_L}{L} - \bar{A}_1 - \frac{f_0 t_L}{1+r} \right) \quad (13)$$

$$V_{0.5L} = \left( \frac{r Q_0 t_{0.5L}}{L} - \bar{A}_r - \frac{f_0 t_{0.5L}}{1+r} \right) \quad (14)$$

که در این روابط  $V_L$ : حجم آب ورودی به جویچه در زمان رسیدن آب به انتهای جویچه،  $Q_0$ : دبی جریان ورودی به جویچه،  $t_L$ : زمان پیشروی آب به انتهای جویچه، L: طول جویچه،  $\bar{A}_1$ : سطح مقطع متوسط در زمان  $t_L$ ،  $f_0$ : سرعت نفوذ پایه، r: توان معادله پیشروی،  $V_{0.5L}$ : حجم آب ورودی به جویچه در زمان رسیدن آب به وسط جویچه،  $t_{0.5L}$ : زمان پیشروی آب به وسط جویچه و  $\bar{A}_r$ : سطح

جدول ۲. پارامترهای نفوذ کوستیاکف لویس تخمینی با روش RSIF و D-RSIF

تیمار	روش تخمین	K	a	fo
جریان ورودی	D-RSIF	۰/۰۰۴	۰/۴۸	۰/۰۰۰۳
ثابت	RSIF	۰/۰۰۴۵	۰/۵۸	۰/۰۰۰۳۶
جریان ورودی	D-RSIF	۰/۰۰۵۴	۰/۵۷	۰/۰۰۰۳۶
متغیر	RSIF	۰/۰۰۴۵	۰/۵۸	۰/۰۰۰۳۶

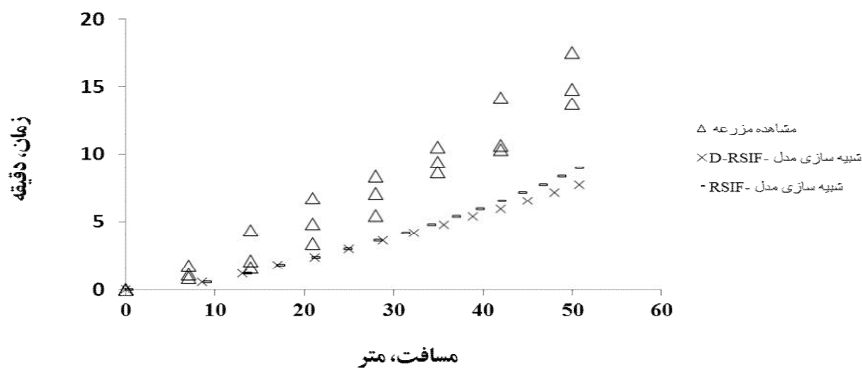
جدول ۳. ارزیابی حجم نفوذ با روش D-RSIF و روش RSIF با استفاده از مدل اینرسی - صفر

تیمار	شماره جویچه آزمایشی	مشاهده مزرعه (m <sup>3</sup> )	D-RSIF		RSIF	
			خطای نسبی (%)	شیب‌سازی مدل	خطای نسبی (%)	شیب‌سازی مدل
جریان ورودی ثابت	۱	۲/۴۵	۷/۳	۲/۲۷	۳/۲۷	۳۳/۵
	۲	۱/۹۹	۵/۲	۲/۱	۳/۰۱	۵۰/۷
جریان ورودی متغیر	۱	۵/۴۴	۹/۶	۴/۹۲	۴/۵	۱۷/۲۸
	۲	۵/۵۳	۱۳/۲	۴/۸	۴/۳۹	۲۰/۶۱

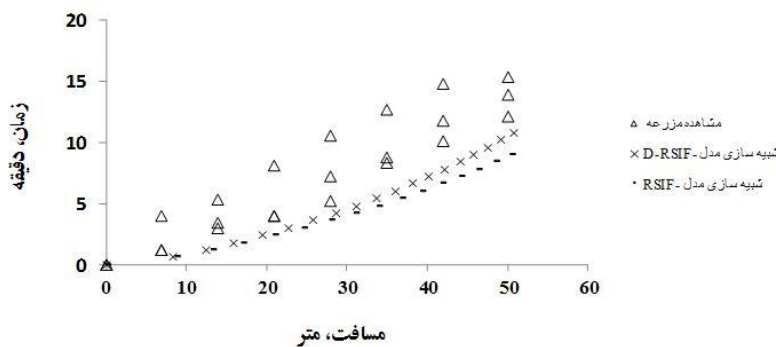
آب نفوذ یافته شبیه‌سازی شده با مدل اینرسی - صفر توسعه یافته و با کاربرد دو روش D-RSIF و RSIF ارائه شده است. با توجه به این جدول، دقت روش D-RSIF در برآورد حجم نفوذ نسبت به روش RSIF بیشتر است که این به علت لحاظ شرایط آبیاری شامل پیشروی، پسروی و رواناب در تخمین پارامترهای معادله نفوذ برای روش گروه نفوذ توسعه یافته است. در شکل (۳) پیشروی شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل اینرسی - صفر با کاربرد دو روش D-RSIF و RSIF برای تیمار جریان ورودی ثابت و متغیر ارائه شده است. نتایج آنالیز آماری با نرم افزار SPSS نشان داد که تفاوت دو روش در سطح پنج درصد معنی دار است. با توجه به شکل (۳) زمان پیشروی برای تیمار جریان ورودی متغیر با روش D-RSIF دقیق تر برآورد شده است. به علت مشابه بودن دبی جریان ورودی در فاز پیشروی، برای تیمارهای جریان ورودی ثابت و متغیر، تفاوت دو روش D-RSIF و RSIF در برآورد پیشروی در هر دو تیمار تقریباً یکسان است. در شکل (۴) هیدروگراف رواناب شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل اینرسی - صفر و با کاربرد دو روش D-RSIF و RSIF ارائه و با مشاهدات مزرعه مقایسه شده است. با توجه به این شکل تفاوت بین دو روش از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی دار است. همچنین روش D-RSIF

و  $f_0$  (پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف - لویس) نشان داده است که این پارامترها بیشتر تحت تأثیر رواناب خروجی از جویچه هستند و به عبارتی مبین شرایط آبیاری در فاز ذخیره و پسروی هستند (۲۴). با توجه به اینکه در تیمار جریان ورودی متغیر، دبی جریان ورودی بعد از فاز پیشروی کاهش می‌یابد لذا در مقایسه با تیمار جریان ورودی ثابت، تأثیر دبی جریان ورودی بر نفوذ نسبت به تأثیر ویژگی‌های فیزیکی خاک کمتر است (۳). بنابراین در تیمار جریان ورودی متغیر، تفاوت دو روش RSIF و D-RSIF در برآورد پارامترهای  $f_0$  و  $a$  معنی دار نیست (شکل ۲). بر اساس نتایج آنالیز حساسیت انجام شده، پارامتر  $K$  به داده‌های پیشروی وابسته است (۲۴). با توجه به جدول (۲) پارامتر  $K$  تعیین شده با روش (D-RSIF) در دو تیمار جریان ورودی ثابت و متغیر تقریباً یکسان است که با توجه به وابستگی این پارامتر به فاز پیشروی و یکسان بودن دبی جریان ورودی در فاز پیشروی در دو تیمار مد نظر قابل قبول است (شکل ۲). به منظور بررسی دقت روش‌های گروه نفوذ D-RSIF و RSIF، در تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف - لویس، مراحل متفاوت آبیاری برای تیمارهای جریان ورودی ثابت و متغیر، با استفاده از مدل شبیه‌سازی اینرسی - صفر توسعه یافته، شبیه‌سازی شد. در جدول (۳)، حجم

## الف



## ب



شکل ۳. زمان پیشروی شبیه‌سازی شده با مدل اینرسی- صفر با استفاده از روش RSIF و D-RSIF (الف) تیمار جریان ورودی ثابت و (ب) تیمار جریان ورودی متغیر

روش برآورد رواناب، روش واسنجی چندمرحله‌ای است و دقت دو روش D-RSIF و دونقطه در برآورد حجم رواناب، در این تیمار آزمایشی برای هر سه تکرار تقریباً یکسان است. کمترین دقت در برآورد حجم رواناب، در تیمار جریان ورودی ثابت مربوط به روش RSIF مبتنی بر اطلاعات خاک است که به دلیل عدم لحاظ اثر تغییرات دبی جریان ورودی بر تخمین معادله نفوذ در این روش است. در تیمار جریان ورودی متغیر، خطای برآورد حجم رواناب به‌طور متوسط در روش RSIF، D-RSIF، و واسنجی چندمرحله‌ای و دونقطه به ترتیب برابر با ۱۰، ۶، ۱۲ و ۴۱ درصد است. در تیمار جریان ورودی متغیر دقت روش گروه نفوذ (RSIF و D-RSIF) در برآورد حجم رواناب بیشتر از روش دقیق واسنجی چندمرحله‌ای است.

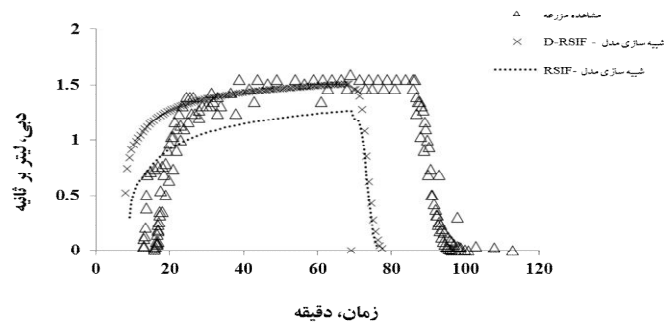
شکل هیدروگراف رواناب را با دقت بیشتری برآورد می‌کند. در تیمار جریان ورودی ثابت (شکل ۴- الف) تفاوت دو روش در برآورد هیدروگراف رواناب، بیشتر از تیمار جریان ورودی متغیر (شکل ۴- ب) است.

### مقایسه روش گروه نفوذ و سایر روش‌های تخمین معادله نفوذ کوستیاکف- لویس

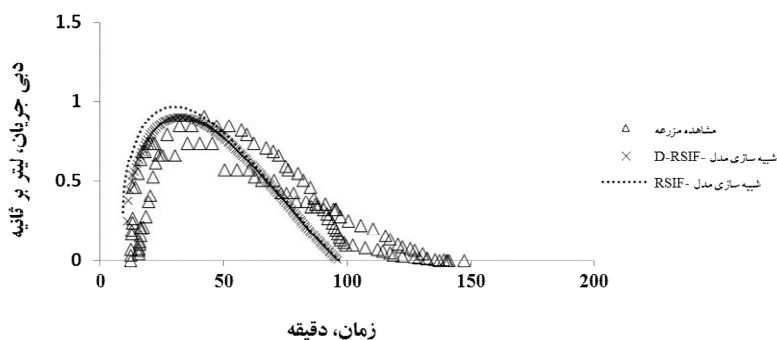
در این مطالعه، روش گروه نفوذ و روش گروه نفوذ توسعه یافته از نظر دقت و سادگی اجرا با دو روش واسنجی چندمرحله‌ای (۲۴) و روش دونقطه (۲۲) برای تیمار جریان ورودی ثابت و متغیر مقایسه شد که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به جدول (۴) در تیمار جریان ورودی ثابت، دقیق‌ترین



الف



ب



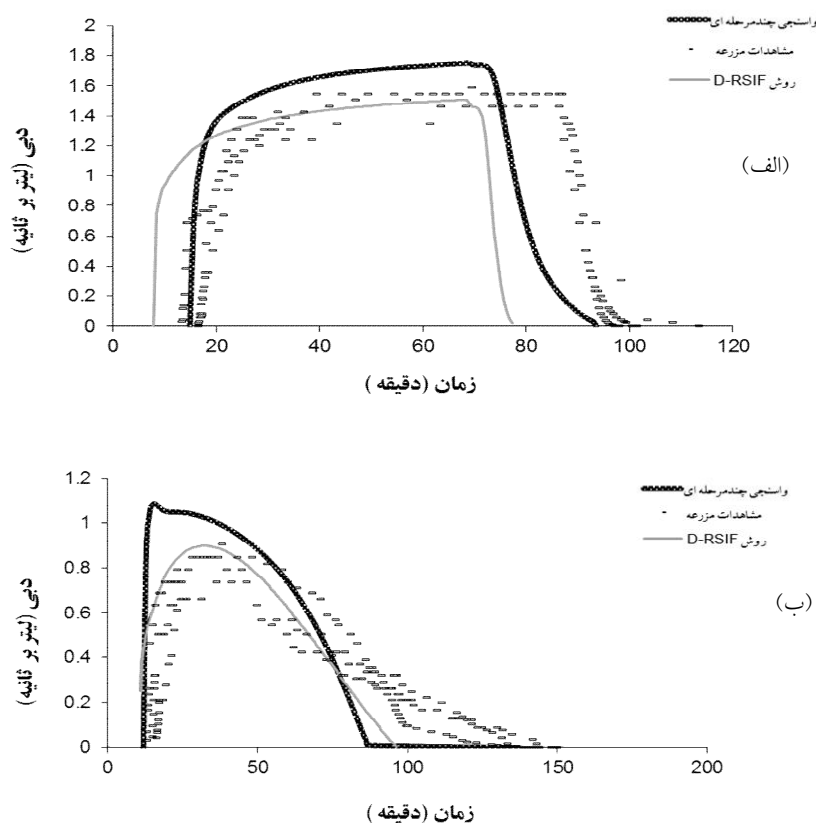
شکل ۴. هیدروگراف رواناب شبیه‌سازی شده به وسیله مدل اینرسی - صفر با کاربرد روش D-RSIF و RSIF (الف) تیمار جریان ورودی ثابت و (ب) تیمار جریان ورودی متغیر

جدول ۴. حجم رواناب شبیه‌سازی شده با مدل اینرسی صفر با استفاده از روش RSIF, D-RSIF, روش واسنجی چندمرحله‌ای و روش دونقطه

تیمار	شماره	مشاهده مزرعه (m <sup>3</sup> )	RSIF		D-RSIF		واسنجی چندمرحله‌ای		دونقطه
			خطای نسبی (%)	شبه‌سازی مدل	خطای نسبی (%)	شبه‌سازی مدل	خطای نسبی (%)	شبه‌سازی مدل	
جریان ورودی ثابت	۱	۶/۲۴۴	۳۳/۷	۱۴/۱۵	۰/۵۴۴	۱۵/۵۲	۴/۳۷	۵/۲۷۵	۱۱/۳۴
	۲	۵/۹۵	۳۰/۴	۹/۹۱	۶/۲۱	۱۷/۶	۲/۹۹		
	۳	۶/۴۰۲	۳۵/۳۳	۱۶/۲۷					
جریان ورودی متغیر	۱	۳/۴۶۴	۵/۶	۱۴/۲۶	۱/۲۱	۲۴/۶۵			
	۲	۲/۹۶۱	۱۰/۴۳	۰/۳	۳/۴۲۲	۴۵/۸۳	۱۵/۵۷	۴/۳۱۸	
	۳	۲/۸۷	۱۳/۹	۳/۴۸	۱۹/۲۳	۵۰/۴۵			

در شکل (۵) نمایی از هیدروگراف رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل اینرسی - صفر توسعه یافته با کاربرد دو روش D-RSIF و واسنجی چندمرحله‌ای ارائه شده است. با توجه به این شکل تفاوت دو روش در سطح پنج درصد از نظر آماری معنی‌دار است. در تیمار جریان ورودی متغیر، روش D-RSIF نسبت به روش واسنجی چندمرحله‌ای در برآورد شکل هیدروگراف رواناب و برآورد پیک رواناب، دقت بیشتری دارد. علاوه بر دقت روش D-RSIF نسبت به روش واسنجی چندمرحله‌ای، این روش ساده

در شکل (۵) نمایی از هیدروگراف رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل اینرسی - صفر توسعه یافته با کاربرد دو روش D-RSIF و واسنجی چندمرحله‌ای ارائه شده است. با توجه به این شکل تفاوت دو روش در سطح پنج درصد از نظر آماری معنی‌دار است. در تیمار جریان ورودی متغیر، روش D-RSIF نسبت به روش واسنجی چندمرحله‌ای، این روش ساده



شکل ۵. نمایی از مقایسه رواناب شبیه‌سازی شده با مدل اینرسی- صفر توسعه‌یافته با کاربرد دو روش D-RSIF و واسنجی چندمرحله‌ای (الف) جریان ثابت و (ب) جریان متغیر

آبیاری انجام می‌شود. به‌منظور بررسی دقت روش گروه نفوذ مبتنی بر اطلاعات خاک مزرعه آزمایشی، مدل اینرسی- صفر توسعه‌یافته برای تیمار جریان ورودی متغیر و باتوجه به ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف- لویس تخمینی با روش RSIF و D-RSIF با هدف آبیاری کامل (تأمین عمق مورد نیاز نفوذ در انتهای جویچه) اجرا شد. نتایج شبیه‌سازی مدل نشان داد که خطای برنامه‌ریزی آبیاری در روش گروه نفوذ مبتنی بر اطلاعات خاک ۱۴ (RSIF) درصد است که این به مفهوم مصرف آب بیش از حد مورد نیاز نسبت به برنامه‌ریزی آبیاری با روش گروه نفوذ توسعه‌یافته (D-RSIF) است. اگرچه درصد خطای برنامه‌ریزی تعیین‌شده برای شرایط این مطالعه و در تیمار جریان ورودی متغیر ارائه شده است و نیاز به بررسی بیشتر در شرایط متفاوت آبیاری و بافت خاک دارد، اما ضرورت دارد برنامه‌ریزان آبیاری

و سریع بوده و نیاز به واسنجی با یک تابع هدف در یک مرحله مبتنی بر حجم رواناب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده دارد. درحالی‌که روش واسنجی چندمرحله‌ای نیاز به واسنجی در چهارمرحله با چهار تابع هدف دارد (۲۴).

### نتیجه‌گیری

روش گروه نفوذ توسعه‌یافته بر مبنای ویژگی‌های خاک و شرایط حاکم بر آبیاری (D-RSIF) در این مطالعه ارائه شد. باتوجه به نتایج این مطالعه، دقت روش D-RSIF نسبت به روش RSIF در ارزیابی مراحل مختلف آبیاری، بیشتر است. توجه به این نکته ضروری است که هدف آبیاری جویچه‌ای تأمین عمق آب مورد نیاز گیاه در انتهای جویچه است و برنامه‌ریزی آبیاری عموماً به دلیل محدودیت در تغییرات حلقه با استفاده از تغییر زمان

سادگی نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی مانند روش واسنجی چندمرحله‌ای، دقت قابل‌قبولی در برآورد مراحل آبیاری جویچه‌ای در مزرعه نسبت به سایر روش‌ها از جمله روش دونقطه دارد.

به‌میزان خطای برنامه‌ریزی آبیاری با تکیه بر ویژگی‌های خاک مزرعه (روش RSIF) توجه داشته باشند. در مجموع روش گروه نفوذ توسعه‌یافته ارائه شده در این مطالعه (D-RSIF) به‌دلیل لحاظ ویژگی‌های فیزیکی خاک و شرایط حاکم بر آبیاری به‌منظور تخمین معادله نفوذ کوستیاکف-لویس پیشنهاد می‌شود که ضمن

## منابع مورد استفاده

1. Bautista, E. and W. W. Wallender. 1993. Identification of furrow intake parameters from advance times and rates. *Journal of Irrigation and Drainage (ASCE)* 119(2): 295-311.
2. Bautista, E., A. W. Warrick, J. L. Schelegel, K. R. Thorp and D. J. Hunsaker. 2016. Approximate furrow infiltration model for time-variable ponding depth. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142(11): 1-11.
3. Behzad, M. and M. Mahmoodian Shooshtary. 1997. Effect of inflow rate on the furrow infiltration. In: Proceeding of the 2<sup>nd</sup> Iranian Congress on Soil and Water Issues, Tehran. Pp: 15-28. (In Farsi).
4. Elliott, R. L. and W. R. Walker. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Transactions of ASAE* 25(2): 396-400.
5. Elliott, R. L., W. R. Walker and G. V. Skogerboe. 1983. Infiltration parameters from furrow irrigation advance data. *Transactions of ASAE* 26(6): 1726-1731.
6. Fangmeier, D. D. and M. K. Ramsey. 1978. Intake characteristics of irrigation furrows. *Transactions of ASAE* 21(4): 696-705.
7. Gillies, M. H. and R. J. Smith. 2005. Infiltration parameters from surface irrigation advance and run-off data. *Irrigation Science* 24(1): 25-35.
8. Gillies, M. H., R. J. Smith and S. R. Raine. 2007. Accounting for temporal inflow variation in the inverse solution for infiltration in surface irrigation. *Irrigation Science* 25(1): 87-97.
9. Guardo, M., R. Oad and T. H. Podmore. 2000. Comparison of zero-inertia and volume balance advance-infiltration models. *Journal of Hydraulic Engineering* 126(6): 457-465.
10. Jurriens, M. and K. J. Lenselink. 2001. Straightforward furrow irrigation can be 70% efficient. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)* 50(3): 195-204.
11. Maroufpoor, E., A. Seyedzadeh, M. Behzadynasab. 2017. Investigation of the accuracy of non-point infiltration measurement methods in designing of furrow irrigation system. *Journal of Water and Soil Conservation (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)* 24(3):257-2. (In Farsi).
12. McClymont, D. J. and R. J. Smith. 1996. Infiltration parameters from optimization on furrow irrigation advance data. *Irrigation Science* 17(1): 15-22.
13. Moravejalakhani, B., B. Mostafazadeh-Fard, M. Heidarpour and F. Abbasi. 2012. Comparison of multilevel calibration and volume balance method for estimating furrow infiltration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)* 138(8): 777-781.
14. Mostafazadeh-Fard, B. 1991. Determination of the kostiakov-lewis infiltration function parameters using volume balance equation for a furrow irrigation field at Isfahan. *Agricultural Sciences and Technology Journal* 5(1): 101-112.
15. Mostafazadeh, B. and W. R. Walker. 1981. Furrow geometry under surge and continuous flow. *Iran Agricultural Research* 6(2): 57-71.
16. Raine, S. R., D. J. McClymont and R. J. Smith. 1997. The development of guidelines for surface irrigation in areas with variable infiltration. *Australian Society of Sugar Cane Technologists, Cairns, Australia* 293-301.
17. Rastgoo, S. and S. Besharat. 2016. Evaluation and Comparison of the methods of estimating of Kostiakov-Lewis equation parameters in Furrow Irrigation. 2<sup>nd</sup> Iranian National Congress of Irrigation and Drainage. Isfahan University of Technology: 8p. (In Farsi).
18. Renault, D. and W. W. Wallender. 1996. Initial-inflow-variation impacts on furrow irrigation evaluation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)* 122(1): 7-14.
19. Renault, D. and W. W. Wallender. 1997. Surface storage in furrow irrigation evaluation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)* 123(6): 415-422.
20. Scaloppi E. J., G. P. Merkley and L. S. Willardson. 1995. Intake parameters from advance and wetting phases of surface irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)* 121(1): 57-70.

21. Shaikh, I. F., A. Wayayok and M. A. Mangrio. 2017. Comparative Study of irrigation advance based infiltration methods for furrow irrigated soils. *Pertanika Journal of Science and Technology* 25(4): 1223 -1234.
22. Walker, W. R. and G. V. Skogerboe. 1987. Surface Irrigation: Theory and Practice. Prentice- Hall, Inc., Englewood Ciffs, New jersey.
23. Walker, W. R. 1989. Advantage and Disadvantage of Surface Irrigation: Guidelines for Designing and Evaluating Surface Irrigation Systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
24. Walker, W. R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)* 131(2): 129–136.
25. Walker, W. R., C. Prestwich and T. Spofford. 2006. Development of the revised USDA–NRCS intake families for surface irrigation. *Agricultural Water Management* 85: 157–164.
26. Yassin, M. A., A. A. Alazba and M. A. Mattar. 2016. A new predictive model for furrow irrigation infiltration using gene expression programming. *Computers and Electronics in Agriculture* 122 : 168–175..

## The Investigation of the Estimation Precision of Infiltration Equation Parameters Based on Soil Physics Characteristics for Furrow Irrigation

B. Moravejalahkami<sup>1\*</sup>

(Received: November 21-2018 ; Accepted: January 6-2019)

### Abstract

Furrow irrigation is the most common method of surface irrigation. However, the accurate estimation of the soil water infiltration equation is the most important challenge for evaluating this method of irrigation. In this study, a fast and simple method that is named soil intake families and presented by USDA-NRCS (RSIF), evaluated for estimation of the Kostiakov-lewis infiltration equation parameters based on soil information. Also, this method was developed based on irrigation condition and considering soil characteristics (D-RSIF). Two treatments including constant and variable inflow discharge were tested with 4 repetitions and different irrigation phases including advance, storage and recession were simulated by developed Zero-Inertia model using RSIF and D-RSIF methods. The results showed that using the zero- inertial model, the difference between simulated advance times and simulated runoff were significant at 5% level for D-RSIF and RSIF methods. For variable inflow discharge, the error of estimating runoff volume was 10%, 6%, 12% and 41% for RSIF, D-RSIF, multilevel calibration and two-point methods respectively. Also, the irrigation scheduling error, based on soil physics characteristics (RSIF) was 14% that means consuming water more than required.

**Keywords:** Infiltration, soil physics characteristics, furrow irrigation, Zero-inertia model

---

1. Soil and Water Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: b.moravej@areeo.ac.ir