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

بیتا مروج‌الاحکامی[۱]

(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- لوییس ارزیابی شد. همچنین، روش مذکور برمبنای 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 توسعه‌یافته 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 D-RSIF و RSIF در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در تیمار جریان ورودی متغیر، خطای براورد حجم رواناب به‌طور متوسط در روش RSIF، D-RSIF، واسنجی چندمرحله‌ای و دونقطه به‌ترتیب 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

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آبیاری جویچه‌ای به‌دلیل 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 به‌منظور 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 برمبنای 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 به‌دست 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- لوییس، روش واسنجی چندمرحله‌ای است که در مقایسه با روش دونقطه، شکل هیدروگراف جریان خروجی را با دقت بیشتری براورد 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 براورد 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 براورد شاخص‌های هیدرولیکی آبیاری جویچه‌ای خواهد شد (۲، ۱۱ و ۲۶). با توجه به اینکه بخش وسیعی از اراضی کشور به‌صورت سطحی و عموماً به‌شیوه جویچه‌ای آبیاری می‌شوند و باتوجه به اجتناب‌ناپذیر بودن اجرای این روش‌های آبیاری، در برخی مزارع به‌دلیل 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 به‌منظور برنامه‌ریزی مناسب آبیاری سطحی، نیازمند اطلاعات نفوذ آب به خاک به‌عنوان 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. به‌منظور 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، به‌دلیل عدم لحاظ شرایط آبیاری، دقت قابل‌قبولی در براورد پارامترهای معادله نفوذ آبیاری سطحی را ندارد. برای بهبود دقت روش مذکور، پارامتر محیط خیس شده جویچه به‌عنوان 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 (به‌منظور لحاظ فاز پیشروی)، حجم رواناب و داده‌های پسروی (به‌منظور لحاظ فاز پسروی و ذخیره) توسعه و مورد ارزیابی قرار گرفت (D-RSIF).

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

روش گروه نفوذ (RSIF) و روش گروه نفوذ توسعه‌یافته (D-RSIF)

روش گروه نفوذ به‌منظور 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 (a_{ref}، K_{ref} و f_{oref}) با استفاده از شماره گروه نفوذ ارائه شده (Fn) به‌صورت زیر بیان می‌شوند (۲۵):

$$Z = Kt^{a} + f_{o}t \qquad (۱)$$

$$a_{ref} = \frac{۰/۱۵۷۱ + ۲/۵۷۳۹ \times Fn}{۱ + ۳/۶۹۴۰ \times Fn - ۰/۱۱۴۹ \times Fn^{۲}} \qquad (۲)$$

$$K_{ref} = ۰/۰۰۲۴۷\left(Fn + ۰/۰۰۳۱۹\right)^{۰/۵۸۱۷} \qquad (۳)$$

$$f_{oref} = ۰/۰۰۰۴۵۴\left(۱/۰۱۴۹ - e^{(-۰/۵۵۹۶ \times Fn)}\right) \qquad (۴)$$

که در این روابط Z: نفوذ تجمعی ($m^{۳}/m$)، t: فرصت زمان نفوذ (min)، K و a: پارامترهای معادله نفوذ، f_{o}: سرعت نفوذ پایه ($m^{۳}/min/m$)، 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 به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Q_{ref} = ۰/۴۳۲ + ۱/۷۹ \times Fn - ۰/۲۲۵ \times Fn^{۲} \qquad (۵)$$

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

$$WP_{ref} = ۰/۲۹۸ \times \left(Fn - ۰/۱۴۱۷\right)^{۰/۵۴۸} \qquad (۶)$$

بنابراین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس به‌صورت زیر تعدیل می‌شوند:

$$a = ICF \times a_{ref} \qquad (۷)$$

$$K = ICF \times K_{ref} \times \left[\frac{WP_{a}}{WP_{ref}}\right] \qquad (۸)$$

$$f_{o} = ICF \times f_{0ref} \times \left[\frac{WP_{a}}{WP_{ref}}\right] \qquad (۹)$$

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

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

$$objectivefunction = (Vr_{o} - Vr_{m}) \qquad (۱۰)$$

که در این رابطه Vr_{o}: حجم رواناب مشاهده شده و Vr_{m}: حجم رواناب تخمین زده شده است.

همچنین مدل اینرسی- صفر به‌منظور 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 به‌روش گروه نفوذ توسعه‌یافته ارائه شده است.

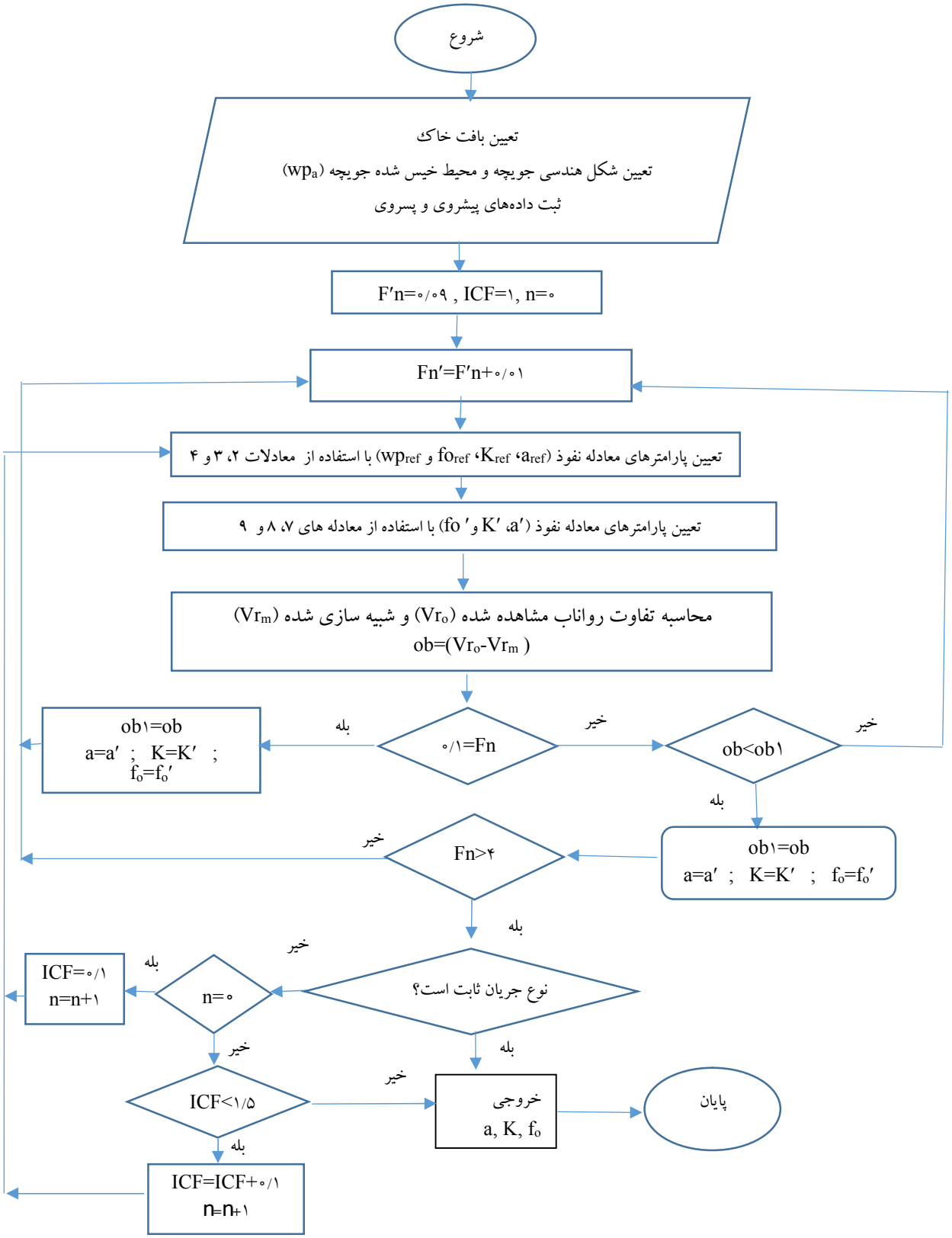
صحت‌سنجی

به‌منظور صحت‌سنجی روش گروه نفوذ توسعه‌یافته 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 به‌ترتیب 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):

$$A = \sigma_{۱} y^{\sigma_{۲}} \qquad (۱۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID



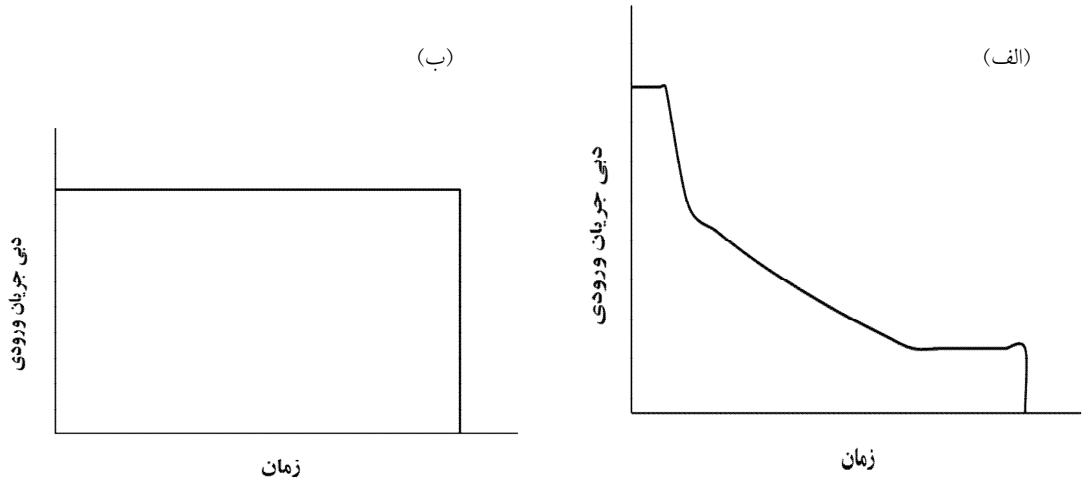
شکل ۱. نمایی از تخمین معادله نفوذ به روش D-RSIF برای جریان ورودی ثابت و متغیر

www.SID.ir

Archive of SID

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

رطوبت اولیه خاک (٪)	طول‌جویچه (m)	دانسیته ظاهری خاک (g/cm^3)	شیب مزرعه (m/m)	بافت خاک	سطح هندسی جویچه		محیط خیس شده جویچه	
					σ_1	σ_2	γ_1	γ_2
۷/۴۵	۵۰	۱/۲۴	۰/۰۰۵	لوم شنی	۰/۷۷	۱/۴۰۸	۱/۷۹	۰/۵۶



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

$$WP = \gamma_1 y^{\gamma_2} \qquad (۱۲)$$

که در این روابط y: عمق آب (m)، A:سطح مقطع هندسی جویچه (m^2)، WP: محیط خیس شده جویچه(m) و γ_1، γ_2، σ_1، σ_2: ثوابت 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 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 براورد نفوذ آب به خاک در آبیاری جویچه‌ای روش واسنجی چندمرحله‌ای است که در آن پارامترهای

www.SID.ir

Archive of SID

معادلـه نفـوذ کوسـتیاکف- لـوییس (a، K و f_o) و ضـریب زبـری مانینگ بر اساس مشاهدات مزرعه واسنجی می‌شوند (۲۴). مراحـل واسنجی به روش مذکور به‌شرح زیر است:

مرحله اول: تعیین K بهینه با مقادیر فرض شـده اولیـه a، f_o و n در شرایطی که تفاضل زمان پیشروی محاسبه شـده و مشاهده شده در انتهای جویچه حـداقل باشـد، مرحلـه دوم: تعیین f_o بهینه با مقادیر فرض شده اولیه a، n و مقدار بهینـه K در مرحله اول، در شرایطی که ریشه تفاضل مربعات برای مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده رواناب در هـر نقطـه از زمان حداقل باشد، مرحله سـوم: تعیـین a بهینـه بـا اسـتفاده ازمقدار فرض اولیه n و مقادیر بهینه شده k و f_o در شرایطی کـه ریشـه تفاضـل مربعـات بـرای مقـادیر مشـاهده شـده و محاسبه شده رواناب در هر نقطـه از زمـان حـداقل باشـد و مرحله چهارم: تعیین n بهینه با استفاده از مقادیر بهینـه شـده a، K و f_o در شرایطی که تفاضل زمان پسروی محاسبه شـده و مشاهده شده تا انتهای جویچه حداقل باشد (۲۴).

روش دونقطه

روش دونقطه بر اساس کاربرد معادله بیلان حجم و بعد از انجام آزمایش‌هـای متعـدد نفـوذ، بـا اسـتفاده از داده‌هـای مزرعـه در دونقطه وسط و انتهای جویچـه بـه‌منظـور تخمـین پارامترهـای معادله نفوذ کوستیاکف ارائه شده است. معادلات ارائه شده برای دو نقطه مذکور به شرح زیر است (۲۲):

$$V_L = \left(\frac{Q_o t_L}{L} - \bar{A}_1 - \frac{f_o t_L}{1+r} \right) \quad (۱۳)$$

$$V_{0.5L} = \left(\frac{2Q_o t_{0.5L}}{L} - \bar{A}_2 - \frac{f_o t_{0.5L}}{1+r} \right) \quad (۱۴)$$

که در این روابط V_L: حجم آب ورودی به جویچه در زمان رسیدن آب به انتهای جویچه، Q_o: دبی جریان ورودی به جویچه، t_L: زمـان پیشروی آب به انتهای جویچه، L: طول جویچـه، $\bar{A}_1$: سـطح مقطـع متوسط در زمان t_L، f_o: سرعت نفوذ پایه، r: تـوان معادلـه پیشـروی، $V_{0.5L}$: حجم آب ورودی به جویچه در زمان رسیدن آب بـه وسـط جویچه، $t_{0.5L}$: زمـان پیشـروی آب بـه وسـط جویچـه و $\bar{A}_2$: سـطح مقطع متوسط در زمان $t_{0.5L}$ است.

نتایج

مقایسه روش گروه نفوذ توسعه‌یافته(D-RSIF) و روش گروه نفوذ ارائه شده توسط USDA-NRCS (RSIF)

برمبنای بافت خـاک مزرعـه آزمایشـی (جـدول ۱) (مزرعـه آزمایشی واقع در دانشگاه صنعتی اصفهان (۳۳ درجـه و ۴۷ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و ارتفـاع ۱۵۸۰ متر از سطح دریا)، شماره گروه نفـوذ (Fn)، در روش گـروه نفوذ (RSIF) براسـاس جـداول USDA-NRCS، ۰/۹ اسـت (۲۵). در روش گروه نفوذ توسعه‌یافته، پارامتر Fn با استفاده از داده‌های پیشـروی، پسـروی و روانـاب مشـاهده شـده در مزرعه و با استفاده از تابع هدف (معادله ۱۰) واسـنجی شـد. پارامتر ICF (فاکتور شـرایط آبیـاری) متـأثر از دبـی جریـان ورودی به جویچه است، لذا این پارامتر برای تیمـار جریـان ورودی ثابت و در آبیاری اول برابر با یک در نظر گرفته شد (۲۵). در تیمار جریـان ورودی متغیـر بـه‌دلیـل کـاهش دبـی جریان ورودی بعد از تکمیل فاز پیشـروی از یـک طـرف و تأثیر تغییرات دبی جریـان ورودی بـر نفـوذ از طـرف دیگـر، پـارامتر ICF نیـز بـا توجـه بـه مشـاهدات مزرعـه واسـنجی شـد (۳ و ۱۸). در جـدول (۲) بـراورد پارامترهـای نفـوذ معادلـه کوستیاکف- لوییس با اسـتفاده از دو روش RSIF و D-RSIF ارائـه شده است. باتوجه به اینکه روش RSIF مبتنی بر ویژگی‌های خاک مزرعه است و در این شیوه، پارامترهای هیدرولیکی از جمله، تغییر جریان ورودی به جویچه لحاظ نمی‌شـود، پارامترهـای معادلـه نفـوذ تخمینـی بـا ایـن روش در مزرعـه آزمایشـی، بـرای دو تیمار جریان ورودی ثابت و متغیر باتوجه به بافت خـاک مزرعـه آزمایشی یکسان لحـاظ شـده اسـت. امـا در روش D-RSIF به‌دلیل تخمین پارامترهـای معادلـه نفـوذ کوسـتیاکف- لـوییس برمبنای ویژگی‌های خاک و لحاظ تغییـرات جریـان آب ورودی بـه جویچـه، ایـن پارامترهـا بـرای تیمـار جریـان ورودی ثابـت و متغیـر، متفـاوت اسـت. آنـالیز حساسـیت پارامترهـای

www.SID.ir

Archive of SID

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

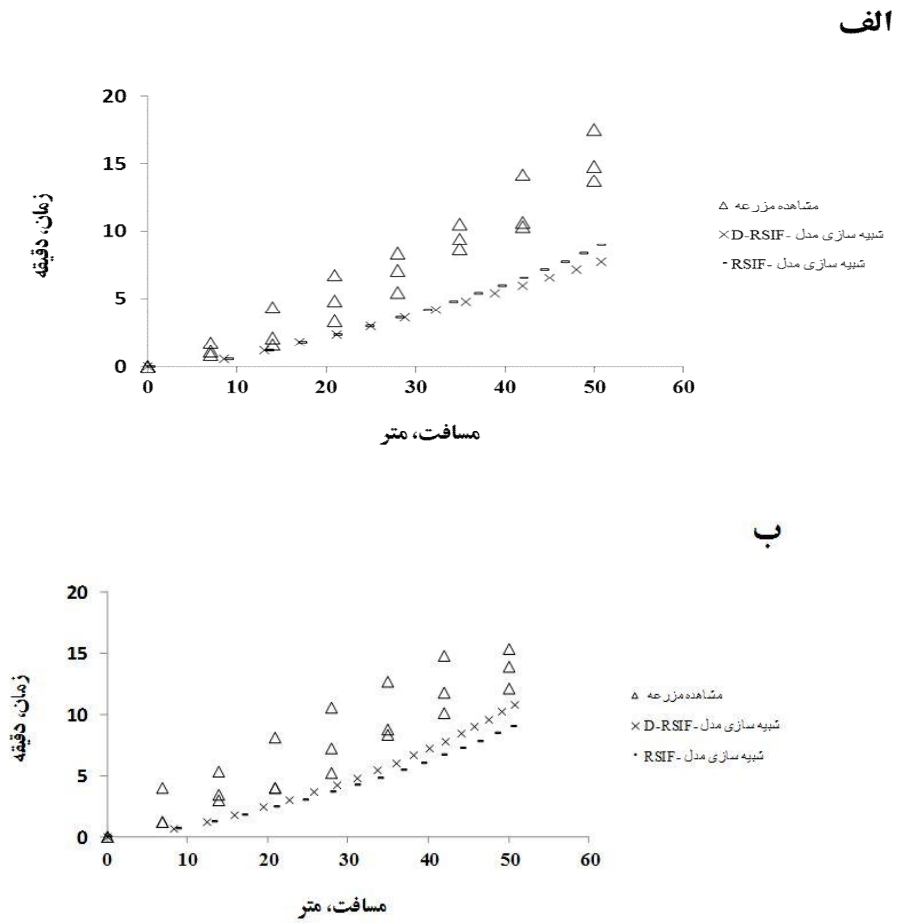
جدول ۳. ارزیابی حجم نفوذ با روش D-RSIF و روش RSIF با استفاده از مدل اینرسی- صفر

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

a و f_o (پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس) نشان داده است که این پارامترها بیشتر تحت تأثیر رواناب خروجی از جویچه هستند و به‌عبارتی مبین شرایط آبیاری در فاز ذخیره و پسروی هستند (۲۴). باتوجه 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 براورد پارامترهای a و f_o معنی‌دار نیست (شکل ۲). بر اساس نتایج آنالیز حساسیت انجام شده، پارامتر K به داده‌های پیشروی وابسته است (۲۴). باتوجه به جدول (۲) پارامتر K تعیین شده با روش (D-RSIF) در دو تیمار جریان ورودی ثابت و متغیر تقریباً یکسان است که باتوجه به وابستگی این پارامتر به فاز پیشروی و یکسان بودن دبی جریان ورودی در فاز پیشروی در دو تیمار مد نظر قابل‌قبول است (شکل ۲). به‌منظور بررسی دقت روش‌های گروه نفوذ D-RSIF و RSIF، در تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس، مراحل متفاوت آبیاری برای تیمارهای جریان ورودی ثابت و متغیر، با استفاده از مدل شبیه‌سازی اینرسی- صفر توسعه‌یافته، شبیه‌سازی شد. در جدول (۳)، حجم آب نفوذیافته شبیه‌سازی شده با مدل اینرسی-صفر توسعه‌یافته و با کاربرد دو روش D-RSIF و RSIF ارائه شده است. با توجه به این جدول، دقت روش D-RSIF در براورد حجم نفوذ نسبت به روش RSIF بیشتر است که این به‌علت لحاظ شرایط آبیاری شامل پیشروی، پسروی و رواناب در تخمین پارامترهای معادله نفوذ برای روش گروه نفوذ توسعه‌یافته 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 نرم‌افزار SPSS نشان داد که تفاوت دو روش در سطح پنج درصد معنی‌دار است. با توجه به شکل (۳) زمان پیشروی برای تیمار جریان ورودی متغیر با روش D-RSIF دقیق‌تر براورد شده است. به‌علت مشابه بودن دبی جریان ورودی در فاز پیشروی، برای تیمارهای جریان ورودی ثابت و متغیر، تفاوت دو روش D-RSIF و RSIF در براورد 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 معنی‌دار است. همچنین روش D-RSIF،

www.SID.ir

Archive of SID



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

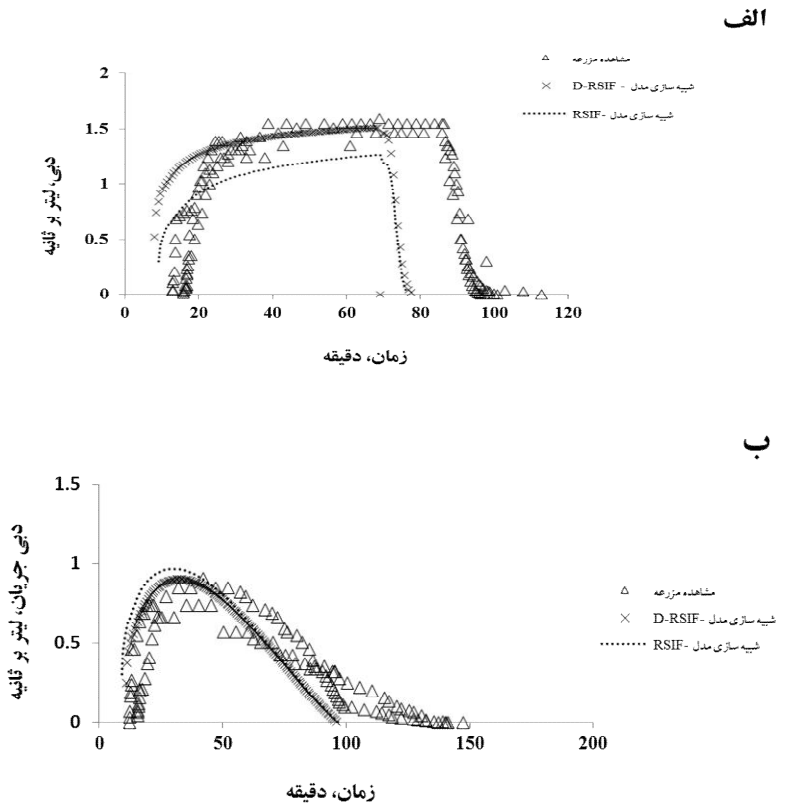
شکل هیدروگراف رواناب را با دقت بیشتری براورد می‌کند. در تیمار جریان ورودی ثابت (شکل ۴- الف) تفاوت دو روش در براورد هیدروگراف رواناب، بیشتر از تیمارجریان ورودی متغیر (شکل ۴-ب) است.

مقایسه روش گروه نفوذ و سایر روش‌های تخمین معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس

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

www.SID.ir

Archive of SID



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

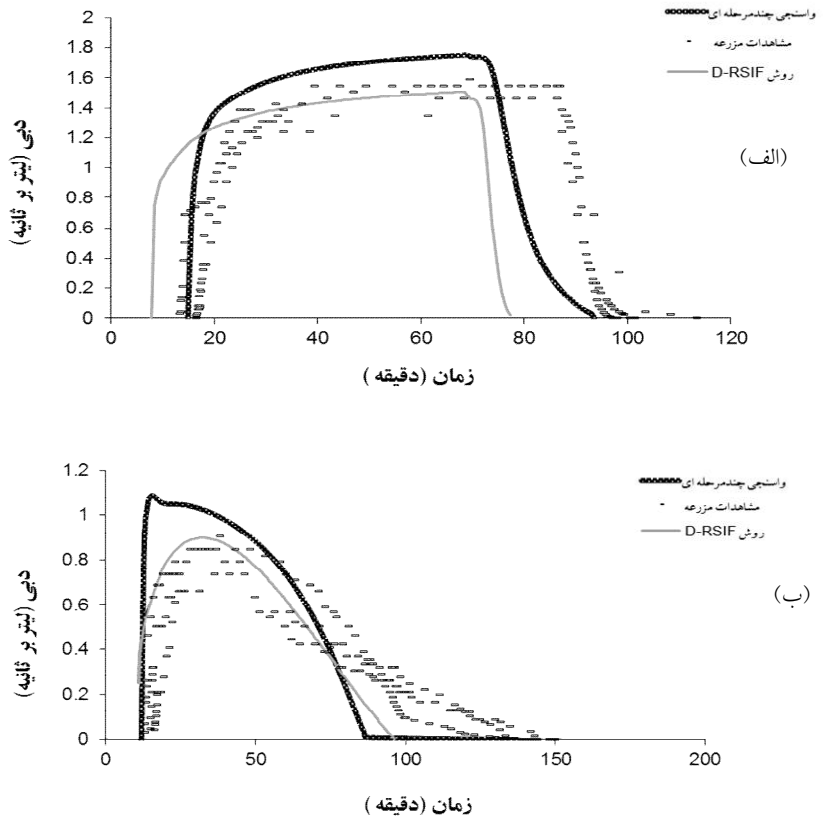
جدول ۴. حجم رواناب شبیه‌سازی شده با مدل اینرسی صفر بااستفاده از روش RSIF، D-RSIF، روش واسنجی چندمرحله‌ای و روش دونقطه

تیمار	شماره جویچه آزمایشی	مشاهده مزرعه (m^3)	RSIF		D-RSIF		واسنجی چندمرحله‌ای		دونقطه	
			شبیه‌سازی مدل	خطای نسبی (٪)	شبیه‌سازی مدل	خطای نسبی (٪)	شبیه‌سازی مدل	خطای نسبی (٪)	شبیه‌سازی مدل	خطای نسبی (٪)
جریان ورودی ثابت	۱	۶/۲۴۴		۳۳/۷		۱۴/۱۵		۰/۵۴۴		۱۵/۵۲
	۲	۵/۹۵	۴/۱۴	۳۰/۴	۵/۳۶	۹/۹۱	۶/۲۱	۴/۳۷	۵/۲۷۵	۱۱/۳۴
	۳	۶/۴۰۲		۳۵/۳۳		۱۶/۲۷		۲/۹۹		۱۷/۶
جریان ورودی متغیر	۱	۳/۴۶۴		۵/۶		۱۴/۲۶		۱/۲۱		۲۴/۶۵
	۲	۲/۹۶۱	۳/۲۷	۱۰/۴۳	۲/۹۷	۰/۳	۳/۴۲۲	۱۵/۵۷	۴/۳۱۸	۴۵/۸۳
	۳	۲/۸۷		۱۳/۹		۳/۴۸		۱۹/۲۳		۵۰/۴۵

در شکل (۵) نمایی از هیدروگراف رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل اینرسی- صفرتوسعه‌یافته با کاربرد دو روش D-RSIF و واسنجی چندمرحله‌ای ارائه شده است. باتوجه 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 براورد شکل هیدروگراف رواناب و براورد پیک رواناب، دقت بیشتری دارد. علاوه‌بر دقت روش D-RSIF نسبت به روش واسنجی چندمرحله‌ای، این روش ساده

www.SID.ir

Archive of SID



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

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

نتیجه‌گیری

روش گروه نفوذ توسعه‌یافته برمبنای 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 به‌دلیل محدودیت در تغییرات حقابه با استفاده از تغییر زمان 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- لوییس 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 ازحد 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

www.SID.ir

Archive of SID

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- لوییس پیشنهاد می‌شود که ضمن سادگی نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی مانند روش واسنجی چندمرحله‌ای، دقت قابل‌قبولی در براورد مراحل آبیاری جویچه‌ای در مزرعه نسبت به سایر روش‌ها از جمله روش دونقطه دارد.

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 2nd 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. Jurrie¨ns, 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 measurment 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. Moravejalahkami, 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. 2nd Iranian Natinal 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.

www.SID.ir

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..

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 3, Fall 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

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

B. Moravejalahkami[1*]

(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 Kostiakove-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

www.SID.ir