

ارائه روش بهینه‌سازی دومرحله‌ای ضریب زبری مانینگ بر مبنای اصلاح روش USDA-NRCS برای ارزیابی آبیاری کرتی

بی‌تا مروج‌الاحکامی^{۱*} و محمدحسن رحیمیان^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲)

چکیده

پژوهش حاضر به منظور ارائه روشی دقیق و سریع برای تخمین نفوذ از طریق بهینه‌سازی ضریب زبری مانینگ در آبیاری کرتی انجام شد. روش بهینه‌سازی دو مرحله‌ای ضریب زبری مانینگ با توسعه مدل شبیه‌سازی zimod و با استفاده از روش‌های گروه نفوذ اولیه USDA-NRCS (نفوذ مبتنی بر خصوصیات خاک) و گروه نفوذ اصلاح‌شده (نفوذ مبتنی بر خصوصیات خاک و دبی جریان ورودی) ارائه شد. ارزیابی نتایج مدل با توجه به پیشروی، پسروی و ذخیره سطحی مشاهده شده در مزرعه نشان داد خطای نسبی برآورد حجم ذخیره سطحی با اصلاح روش گروه نفوذ اولیه بین ۳۸ تا ۵۰ درصد کاهش یافت. خطای جذر میانگین مربعات نرمال‌شده (NRMSE) برای برآورد پیشروی در روش گروه نفوذ اولیه بین ۰/۲۲ تا ۰/۸۵ بود و در روش گروه نفوذ اصلاح‌شده بین ۰/۹ تا ۰/۵ بود. NRMSE برآورد پسروی در روش گروه نفوذ اولیه بین ۰/۱۳ تا ۰/۷۵ و در روش گروه نفوذ اصلاح‌شده بین ۰/۰۹ تا ۰/۱۹ بود. روش ارائه‌شده مبتنی بر اصلاح روش گروه نفوذ ضمن افزایش دقت برآورد نفوذ نسبت به روش گروه نفوذ اولیه با صرف زمان به مراتب کمتر نسبت به روش‌های بهینه‌سازی کامل پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ، قادر به ارزیابی قابل قبول آبیاری کرتی است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری سطحی، اینرسی - صفر، شبیه‌سازی، نفوذپذیری

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

۲. مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: bita.moravej@gmail.com

مقدمه

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در طراحی و مدیریت بهینه آبیاری سطحی، رفتار نفوذ آب به خاک و مقاومت در برابر جریان آب است. بر طبق نتایج مطالعه رینالت و والندر (۱۳) تغییرات اولیه در سرعت جریان ورودی اغلب بر تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف مؤثر است که عدم لحاظ این تغییرات عمدتاً منجر به تخمین مقدار a کمتر و k زیادتر از شرایط واقعی مزرعه می‌شود. بهزاد و شوشتری (۳) در راستای بررسی تغییرات نفوذ با شدت جریان ورودی و با فرض غیر خطی بودن شدت جریان ورودی، معادله نفوذ کوستیاکف-لویس را به شکل زیر ارائه کردند:

$$Z = (kt^a + f_0t)Q_{im}^m \quad (1)$$

که Z نفوذ تجمعی، t فرصت زمان نفوذ، Q_{im} شدت جریان ورودی، f_0 نفوذ پایه، k ، a و m : پارامترهای تجربی معادله هستند. هارون الرشید (۹) برای تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری کرتی فرم دیفرانسیلی معادله پیوستگی و رابطه مانینگ را با استفاده از روش اختلاف محدود پیش‌رونده حل کرد و تغییرات زمانی و مکانی ضریب زبری مانینگ را ارائه داد. استرلکف و همکاران (۱۷) سه روش مهم برای تخمین ضریب زبری مانینگ را ارائه کردند. روش اول برای تخمین ضریب زبری با فرض جریان یکنواخت در شیب‌های به نسبت زیاد و با استفاده از معادله مانینگ ارائه شد. روش دوم مبتنی بر کاربرد مدل‌های ریاضی موجود و انتخاب بهترین مقدار ضریب زبری مانینگ مبتنی بر مقایسه مقادیر پیش‌بینی فاز پیشروی و پسروی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده مزرعه بود. روش سوم تعیین ضریب زبری با استفاده از رابطه مانینگ و استفاده از شیب سطح آب با اندازه‌گیری عمق جریان در نقاط متفاوت برای مزارع با شیب کم ارائه شد. نتایج مطالعات کلمنز و همکاران (۵) نشان داد که مقدار ضریب زبری مانینگ متغیر است و شبیه‌سازی مراحل پیشروی و پسروی با مقدار مشابه این ضریب باعث خطای به نسبت قابل توجهی در ارزیابی آبیاری سطحی خواهد شد. در مطالعات اخیر، مدل‌های دقیق بهینه‌سازی

ضرایب نفوذ و ضریب زبری مانینگ بر اساس داده‌های پیشروی، پسروی و رواناب توسعه یافته است که اگرچه با تکیه بر مشاهدات مزرعه دقت قابل قبولی در برآورد عملکرد آبیاری ارائه می‌دهد اما فرایندی پیچیده و زمان‌بر است (۷، ۸، ۱۹). همچنین، با وجود توانایی این روش‌ها در تخمین پارامترهای معادله نفوذ، تخمین ضریب زبری مانینگ نیاز به بررسی بیشتر دارد. بر اساس نتایج مطالعه چاری و همکاران (۴) معادلات کلی برای پیشروی و پسروی در آبیاری نواری با استفاده از مدل موج جنبشی و معادله فیلیپ ارائه شد که به دلیل سادگی و عدم وابستگی به شرایط خاک روش مناسبی برای برآورد عملکرد آبیاری نواری بود. استفاده از روش پیشنهادی مطالعه سالاو و همکاران (۱۴) با کاهش پراکندگی در نفوذ ناشی از تنوع خاک منجر به کاهش تعداد مشاهدات مزرعه‌ای در بهینه‌سازی آبیاری سطحی شد. روش مورد استفاده در مطالعه حاضر روش گروه نفوذ بر مبنای روش ارائه شده توسط سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا (USDA-NRCS) است. این روش به منظور ساده‌سازی و افزایش سرعت تخمین معادله نفوذ در آبیاری سطحی، مبتنی بر خصوصیات خاک مزرعه، تحت عنوان گروه نفوذ ارائه شده است (۲۰). بر اساس نتایج مطالعه باتیستا و همکاران (۲) در مقایسه معادله نفوذ فیلیپ و گروه نفوذ، کاربرد روش گروه نفوذ منجر به پیش‌بینی دقیق‌تر پسروی نسبت به کاربرد معادله نفوذ فیلیپ شد، ضمن اینکه دقت دو روش در برآورد پیشروی تقریباً یکسان بود. بر اساس نتایج مطالعه قهرمان‌نژاد و همکاران (۶) روش اصلاح شده گروه نفوذ نسبت به روش اصلی در آبیاری نواری برآورد بهتری از نفوذ تجمعی را ارائه کرد. یکی از متداول‌ترین روش‌های آبیاری سطحی به-خصوص در سطح اراضی خردمالک روش آبیاری کرتی است. با توجه به اینکه اراضی خردمالک سهم قابل توجهی از اراضی کشاورزی را شامل می‌شوند (۱۶)، توجه به مدیریت بهینه آبیاری در آنها می‌تواند نقش مهمی در کاهش تلفات آبیاری و بهبود بهره‌وری آب داشته باشد. در روش گروه نفوذ USDA-NRCS معادله نفوذ آب به خاک با توجه به بافت خاک مزرعه آزمایشی و با توجه به جدول‌های ارائه شده تخمین زده

در جدول ۱ ارائه شده است.

روش تحقیق

مدل شبیه‌سازی

عباسی و همکاران (۱) با ارائه مدل Zimod برای شبیه‌سازی مراحل آبیاری سطحی از روش حجم کنترل تغییرپذیر و خطی‌سازی معادلات پیوستگی و مومتم (با توسعه سری تیلور) در مدل اینرسی - صفر استفاده کردند. معادلات پیوستگی و مومتم (موسوم به معادلات سنت و نانت) در مدل اینرسی - صفر به ترتیب به شرح زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Z}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (3)$$

که Q دبی جریان، x فاصله از ابتدای مزرعه، A سطح مقطع جریان، t زمان از شروع آبیاری، Z عمق آب نفوذ یافته تجمعی، y عمق جریان، S_0 شیب کف و S_f شیب اصطکاک است. همچنین، در این مدل از معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس استفاده می‌شود. معادلات حاکم با استفاده از سری‌های تیلور خطی شده و سپس با استفاده از روش حذفی گوس حل می‌شوند.

روش گروه نفوذ USDA-NRCS

در روش گروه نفوذ USDA-NRCS (که از این پس روش گروه نفوذ اولیه نامیده می‌شود) پارامترهای مرجع معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس (f_{0ref} و K_{ref} , a_{ref}) با استفاده از شماره گروه نفوذ ارائه شده (F_n) به صورت زیر بیان می‌شوند (۲۰):

$$a_{ref} = \frac{(0.1571 + 2.5739 \times F_n)}{(1 + 3.6940 \times F_n - 0.1149 \times F_n^2)} \quad (4)$$

$$K_{ref} = 0.00247 (F_n + 0.00319)^{0.5817} \quad (5)$$

$$f_{0ref} = 0.000454 (1.0149 - e^{-0.5596 \times F_n}) \quad (6)$$

که a_{ref} پارامتر تجربی معادله بدون بعد، K_{ref} پارامتر تجربی

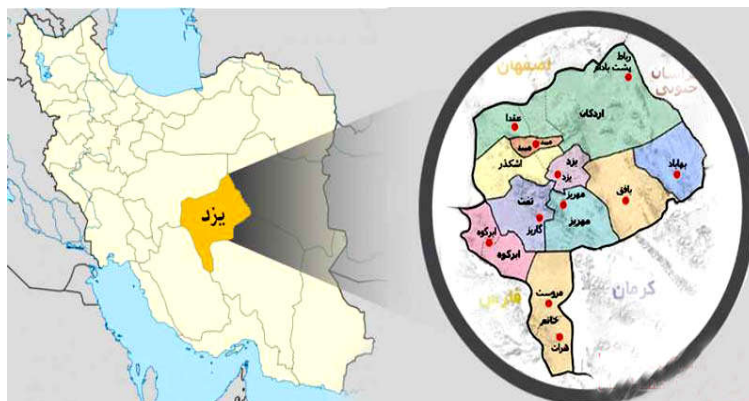
می‌شود، اما به دلیل عدم لحاظ شرایط آبیاری، دقت قابل قبولی در برآورد پارامترهای معادله نفوذ آبیاری کرتی را ندارد. هدف از انجام این مطالعه تصحیح معادله نفوذ حاصل از روش گروه نفوذ USDA-NRCS بر اساس شرایط حاکم بر مزرعه (دبی جریان ورودی به کرت) برای آبیاری کرتی است که ضمن دقت مناسب نسبت به روش گروه نفوذ اولیه، شبیه‌سازی با سرعت بیشتری نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی کامل پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ قابل انجام باشد. لازم به ذکر است در روش‌های بهینه‌سازی کامل، پارامترهای a ، k ، f_0 و n بهینه‌سازی می‌شوند که روندی به مراتب زمان‌بر نسبت به روش ارائه شده در این مطالعه است که صرفاً فرایند بهینه‌سازی برای پارامتر n انجام می‌شود.

مواد و روش‌ها

محل اجرای پژوهش

اندازه‌گیری‌های میدانی و ارزیابی‌های مورد نیاز این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقات شوری چاه افضل، واقع در شهرستان اردکان در ۹۰ کیلومتری شهر یزد (۳۲ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و ۵۳ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی) انجام شد (شکل ۱). برای این منظور، شش کرت با ابعاد متفاوت انتخاب و مطابق با روند متداول منطقه آبیاری شدند. به‌منظور تعیین بافت خاک کرت‌ها، نمونه‌های خاک در ۲۴ نقطه مختلف کرت‌ها از اعماق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ و ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متری برداشته شد و در آزمایشگاه مورد تحلیل قرار گرفت. شیب طولی و عرضی کرت‌ها توسط نقشه‌برداری تعیین شد. سپس کرت‌ها در فواصل طولی ۵ متری ایستگاه‌بندی و نقطه‌گذاری شدند.

علاوه بر ایستگاه‌بندی طولی کرت‌ها، عرض کرت شماره یک و شماره چهار، در فواصل ۲/۵ متری ایستگاه‌بندی شد. جریان آب آبیاری وارد کرت‌ها شد و زمان‌های پیشروی و پسروی آب و همچنین تغییرات زمانی عمق آب (به‌منظور تعیین تغییرات زمانی حجم ذخیره سطحی آب در هر کرت) در هر ایستگاه برای هر کرت ثبت شد. مشخصات خاک و کرت‌های آزمایشی



شکل ۱. موقعیت مکانی مزرعه آزمایشی (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. خصوصیات خاک و هیدرولیک آبیاری کرتی در مزرعه آزمایشی

شماره کرت	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	طول کرت (متر)	عرض کرت (متر)	دبی جریان ورودی (لیتر بر ثانیه بر متر)	متوسط شیب طولی (متر بر متر)
۱	۴۹/۴	۳۴/۲	۱۶/۴	لوم	۳۹/۳	۱۲	۲	-۰/۰۰۰۱۴
۲	۴۸/۴	۳۵/۲	۱۶/۴	لوم	۴۲	۵	۲/۶	-۰/۰۰۰۱۵
۳	۴۰/۷	۴۷/۳	۱۲	لوم	۴۲/۴	۵	۲	-۰/۰۰۰۱۵
۴	۴۷/۴	۳۹/۲	۱۳/۴	لوم	۵۵	۱۲	۲	-۰/۰۰۰۲۳
۵	۴۱/۷	۴۹/۳	۹	لوم	۵۵	۳	۴	-۰/۰۰۰۰۱
۶	۵۰/۴	۳۶/۲	۱۳/۴	لوم	۵۵	۳	۴	-۰/۰۰۰۰۱

سپس پارامترهای مرجع معادله نفوذ بر اساس شرایط آبیاری و محیط خیس شده به صورت زیر اصلاح می‌شوند:

$$a = ICF \times a_{ref} \quad (10)$$

$$k = \frac{ICF \times k_{ref}}{WP_{eqv}} \quad (11)$$

$$f_0 = \frac{ICF \times f_{0ref}}{WP_{eqv}} \quad (12)$$

که ICF فاکتور تجربی وابسته به شرایط آبیاری (بسته به نوع جریان (پیوسته یا سرج) و آبیاری اولیه یا آبیاری بعدی)، WP_{eqv} محیط خیس شده معادل برای آبیاری کرتی است. به این ترتیب بر اساس ضرایب تعیین شده معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس به شرح زیر قابل بیان است (۲۰):

$$Z = Kt^a + f_0t \quad (13)$$

معادله f_{0ref} نفوذ پایه مرجع ($m^3/m/min$)، n ، شماره گروه نفوذ بر اساس طبقه‌بندی بافت خاک ارائه شده توسط USDA-NRCS است. دبی جریان ورودی مرجع (Q_{ref}) با توجه به شماره گروه نفوذ به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Q_{ref} = 0.432 + 1.79 \times Fn - 0.225 \times Fn^2 \quad (7)$$

برای تعدیل پارامترهای نفوذ، WP_{ref} (محیط خیس شده مرجع) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$WP_{ref} = 0.298 \times (Fn - 0.1417)^{0.548} \quad (8)$$

با در نظر داشتن این مسئله که نفوذ در آبیاری جویچه‌ای برخلاف آبیاری نواری و کرتی یک‌بعدی نیست محیط خیس شده معادل (WP_{equ}) بصورت زیر برحسب متر ارائه می‌شود:

$$WP_{eqv} = WP_{ref}^{0.4} \quad (9)$$

اصلاح روش گروه نفوذ اولیه

عمق جریان با توجه به رابطه مانینگ به شرح زیر بیان می‌شود (۱۸):

$$Q = \frac{1}{n} s^{1/2} \times A \times R^{2/3} \quad (14)$$

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2} \quad (15)$$

$$wp = y_1 y^2 \quad (16)$$

در آبیاری کرتی σ_1 ، σ_2 ، $\gamma_1 = 1$ و $\gamma_2 = 0$ است بنابراین $wp=1$ و $A=y$ است معادله (۱۴) به صورت زیر قابل بیان است (۱۸):

$$Q = \frac{1}{n} s^{1/2} \times y^{5/3} \quad (17)$$

$$y = \left(\frac{Q \times n}{\sqrt{s}} \right)^{0.6} \quad (18)$$

با توجه به معادله (۱۸) و رابطه مستقیم نفوذ با عمق جریان، نفوذ با دبی جریان ورودی رابطه مستقیم دارد ($z \propto Q^{0.6}$).

با توجه به نتایج مطالعه مهشوری و همکاران (۱۰) در رابطه با حساسیت فاز پیشروی و فاز پسروی به دبی جریان ورودی و رابطه مستقیم غیرخطی دبی جریان ورودی و نفوذ، معادله نفوذ به دست آمده از روش گروه نفوذ اولیه بصورت زیر اصلاح می‌شود (۳):

$$Z_{adj} = Z \times \left(\frac{Q}{Q_{ref}} \right)^{0.6} \quad (19)$$

که Z نفوذ به دست آمده از روش گروه نفوذ اولیه (بر اساس پارامترهای نفوذ در معادلات ۱۰، ۱۱ و ۱۲، Z_{adj} نفوذ اصلاح شده بر اساس دبی جریان ورودی، Q دبی جریان ورودی به کرت و Q_{ref} دبی جریان ورودی مرجع (معادله ۷) است. در روش گروه نفوذ اصلاح شده فرض بر این است که با توجه به قطع جریان ورودی به داخل کرت در فاز پسروی و به دلیل شیب طولی ناچیز در کرت‌های آزمایشی، معادله نفوذ حاصل از روش گروه نفوذ اولیه (که صرفاً مبتنی بر اطلاعات خاک است) قابلیت کاربرد در فاز پسروی را دارد. به عبارتی بعد از قطع جریان ورودی، کرت همانند یک استوانه نفوذسنج بزرگ عمل کرده و معادله نفوذ حاصل از روش گروه نفوذ مبتنی بر آزمایشات استوانه نفوذسنج در این

شرایط صادق است. بنابراین، اصلاح معادله نفوذ در فاز پیشروی و ذخیره بر مبنای هیدرولیک جریان در کرت‌های آزمایشی (معادله ۱۹) انجام شد.

بهینه‌سازی ضریب زبری مانینگ در آبیاری کرتی

بهینه‌سازی ضریب زبری مانینگ در آبیاری کرتی در این مطالعه مبتنی بر دو روش گروه نفوذ اولیه و روش گروه نفوذ اصلاح شده ارائه شده است. در روش گروه نفوذ اولیه پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس صرفاً بر مبنای خصوصیات خاک تعیین شد و سپس ضریب زبری مانینگ (n) بر اساس مشاهدات مزرعه (پیشروی، پسروی و ذخیره سطحی) بهینه‌سازی شد. در روش گروه نفوذ اصلاح شده، پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس تعیین شده در روش گروه نفوذ اولیه، بر اساس دبی جریان ورودی به کرت‌ها برای فاز پیشروی و ذخیره با استفاده از معادله (۱۹) اصلاح شد. این در حالی بود که معادله نفوذ حاصل از روش گروه نفوذ اولیه برای فاز پسروی در نظر گرفته شد. سپس، بهینه‌سازی ضریب زبری مانینگ (n) بر اساس مشاهدات مزرعه (پیشروی، پسروی و تغییرات زمانی حجم ذخیره سطحی) در دو مرحله پیشروی-ذخیره و مرحله پسروی به صورت جداگانه انجام شد. اساس بهینه‌سازی ارائه شده مبتنی بر تغییر ضریب n بر اساس تغییر جریان ورودی آب به کرت است. به این ترتیب که مقدار این پارامتر در فاز پیشروی و ذخیره به دلیل ورود آب به داخل کرت با فاز پسروی که بعد از قطع جریان ورودی آغاز می‌شود متفاوت در نظر گرفته شده است. روش بهینه‌سازی مذکور به صورت دو مرحله‌ای برای فاز پیشروی-ذخیره و فاز پسروی با توابع هدف زیر ارائه شد:

مرحله اول (فاز پیشروی-ذخیره): بهینه‌سازی ضریب n بر اساس مشاهدات زمان پیشروی و تغییرات زمانی ذخیره سطحی

$$OF_1 = \min \left\{ \left(\frac{\sum_{i=1}^N (t_{adv_i} - t_{adv})^2}{\bar{t}_{adv}} \right) + \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (vsi - vsi) \right)^2 \right\} \quad (20)$$

ضرایب معادله نفوذ و ضریب زبری مانینگ دارد.

نتایج و بحث

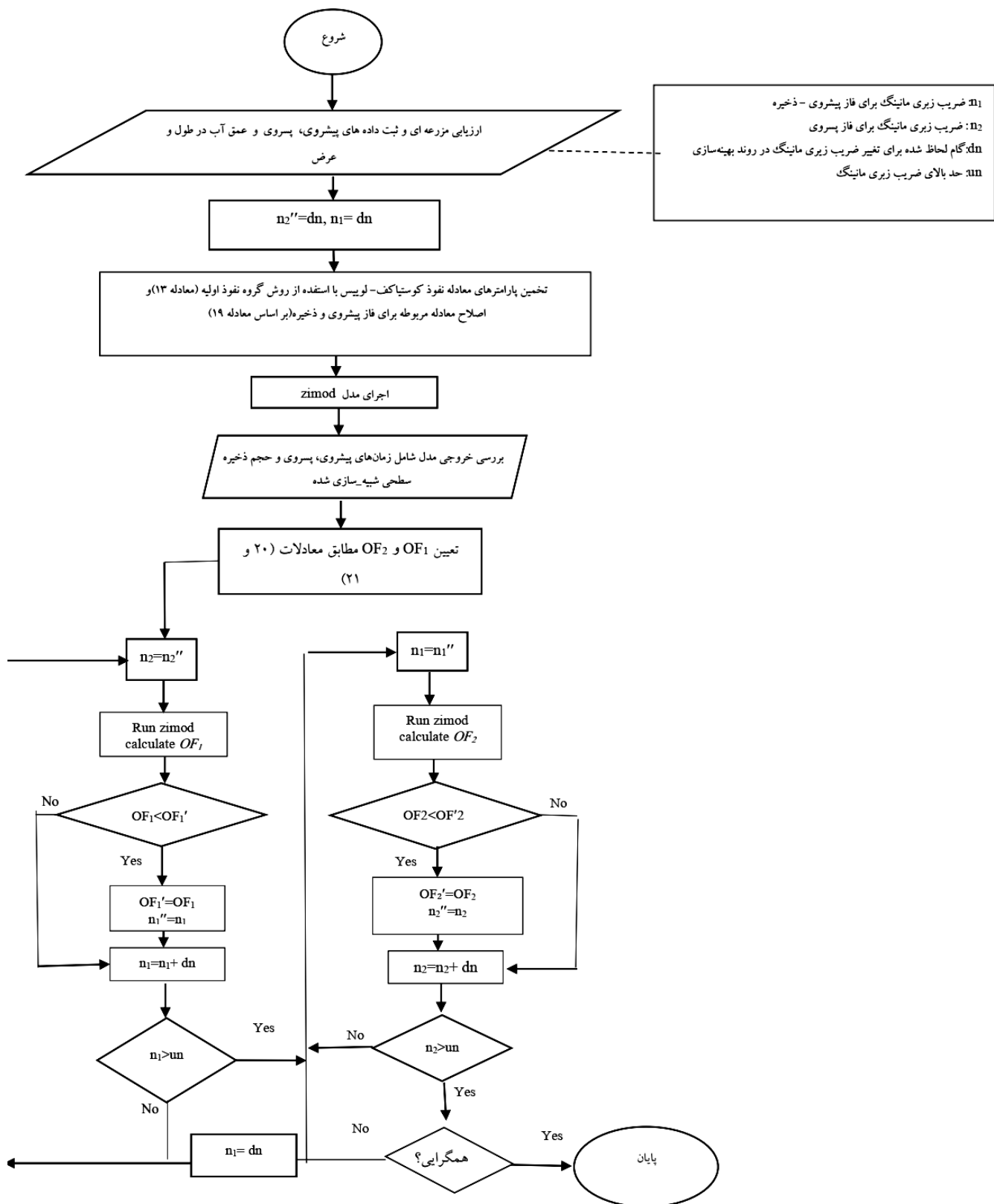
در جدول ۲ پارامترهای معادله نفوذ حاصل از روش گروه نفوذ اولیه و روش گروه نفوذ اصلاح شده ارائه شده است. با توجه به این جدول پارامترهای معادله نفوذ در روش گروه نفوذ اولیه فقط بر پایه خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه است و در کرت‌های متفاوت، علیرغم تفاوت در هیدرولیک جریان یکسان لحاظ می‌شود. در روش گروه نفوذ اصلاح شده معادلات نفوذ تعیین شده در مرحله پیشروی- ذخیره برای کرت‌های شماره ۱ و ۳ مشابه بود. نتایج مشابهی برای کرت‌های شماره ۵ و ۶ به دست آمد که این نتایج به دلیل یکسان بودن بافت خاک، شیب، طول کرت و دبی واحد عرض در کرت‌های مذکور است. با توجه به یکسان بودن دبی جریان ورودی (در واحد عرض) در کرت شماره ۱ و ۳ با وجود ابعاد متفاوت کرت مقادیر ضریب زبری مانینگ بهینه یکسان بود. همچنین، با وجود یکسان بودن ابعاد کرت در کرت‌های شماره ۲ و شماره ۳ به دلیل تفاوت در دبی جریان ورودی (دبی بیشتر جریان ورودی در واحد عرض در کرت شماره ۲ نسبت به کرت شماره ۱) در کرت شماره ۲ ضریب زبری در فاز پیشروی- ذخیره کمتر از ضریب زبری تعیین شده در کرت شماره ۳ بود. نتایج مطالعه نای و همکاران (۱۲) برای جویچه‌های انتهایی نشان داد که ضریب زبری مانینگ به طور معنی داری وابسته به تغییرات دبی جریان ورودی است. نتایج مطالعه سپاسخواه و همکاران (۱۵) نیز تأیید کننده این مطلب است. همچنین، بر اساس مطالعه میلپالی و همکاران (۱۱) با بررسی تغییرات زمانی و مکانی ضریب زبری مانینگ، این ضریب با گذر زمان روند کاهشی دارد. نتایج این مطالعه هم تأییدکننده مورد فوق است. به عبارتی در فاز پسوری ضریب زبری کمتر از ضریب زبری در فاز ذخیره- پیشروی تعیین شده است.

مرحله دوم (فاز پسوری): بهینه‌سازی ضریب n بر اساس مشاهدات زمان پسوری و تغییرات زمانی ذخیره سطحی

$$OF_2 = \min \left\{ \left(\frac{\sum_1^N (t_{reci} - \bar{t}_{rec})^2}{\bar{t}_{rec}} \right) + \left(\sqrt{\frac{1}{M} \sum_1^M (v_{si} - \bar{v}_{si})^2} \right) \right\} \quad (21)$$

که t_{advi} و t'_{advi} : به ترتیب زمان پیشروی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در هر گره، t_{reci} و t'_{reci} به ترتیب زمان پسوری مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در هر گره مکانی (i) ، N تعداد گره‌های مکانی، \bar{t}_{adv} و \bar{t}_{rec} به ترتیب متوسط زمان‌های پیشروی و پسوری مشاهده شده است. V_{si} و $V_{s'i}$ به ترتیب حجم ذخیره سطحی مشاهده و شبیه‌سازی شده در هر گره زمانی (M) است.

برنامه بهینه‌سازی مذکور با توسعه مدل zimod در محیط مطلب نوشته شد. در این برنامه مطابق با روش ارائه شده استرلکف (۱۷) ضرایب زبری مانینگ در محدوده موردنظر و در گام‌های مشخص تغییر داده شده و مقادیر پیشروی، پسوری و ذخیره سطحی شبیه‌سازی شده برای هر مقدار ضریب زبری زمانینگ با مقادیر مشاهده شده در مزرعه مقایسه شد. سرانجام بر اساس توابع هدف ارائه شده (معادله ۲۰ و ۲۱) اقدام به یافتن مقادیر بهینه n برای شرایط مزرعه شد (۱۷). در شکل ۲ فلوچارت بهینه‌سازی ضریب زبری مانینگ بر مبنای روش گروه نفوذ اصلاح شده ارائه شده است. لازم به ذکر است در روش‌های بهینه‌سازی کامل ضرایب معادله نفوذ و ضریب زبری مانینگ برای ارزیابی آبیاری سطحی چهار پارامتر f_0, k, a و n بهینه‌سازی می‌شوند درحالی‌که در روش پیشنهادی این مطالعه ضمن لحاظ مشاهدات مزرعه، فرایند بهینه‌سازی فقط برای پارامتر n و بر اساس مشاهدات مزرعه انجام شده است که سرعت به مراتب بیشتری نسبت به روش‌های بهینه‌سازی کامل



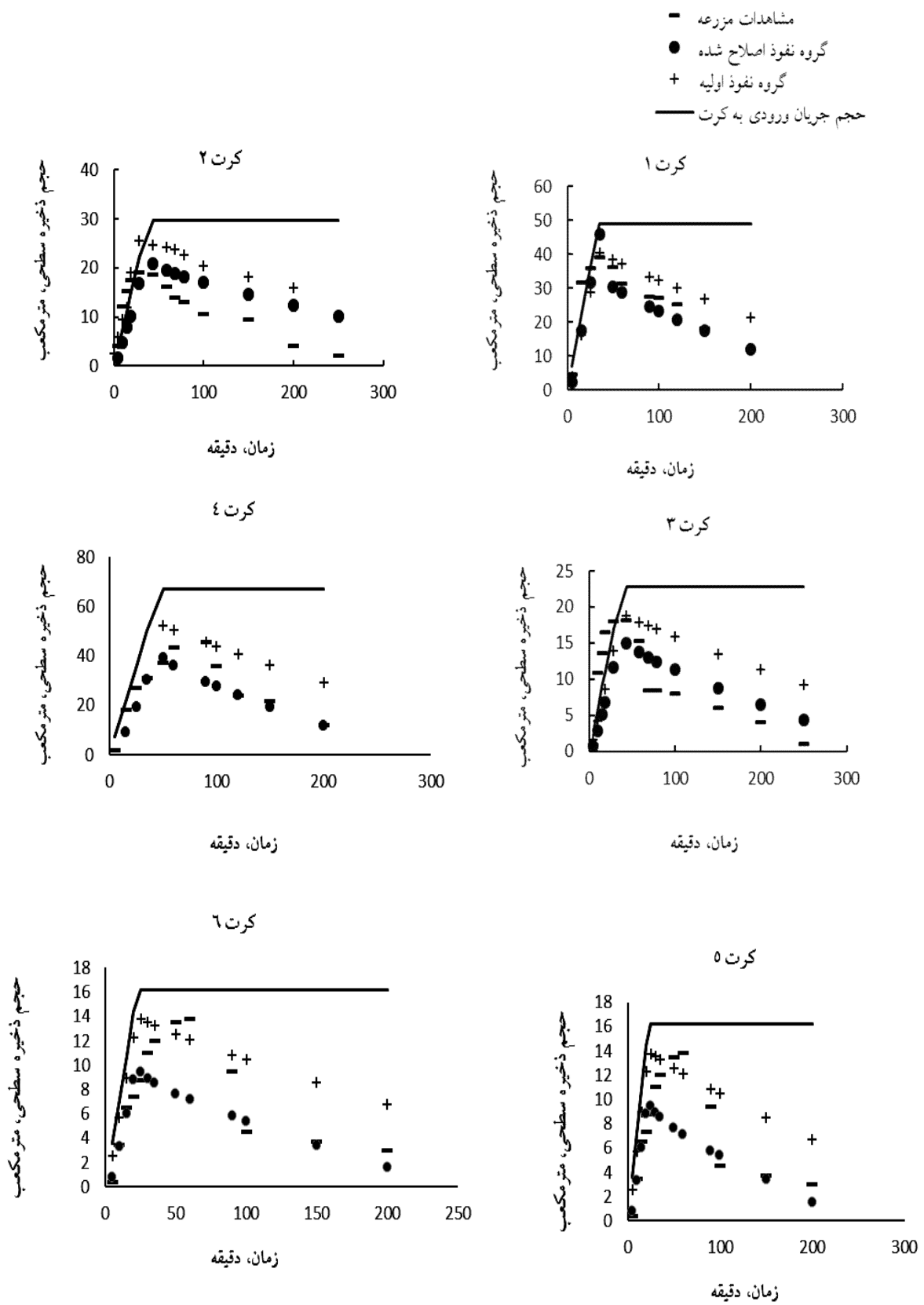
شکل ۲. نمایی از بهینه‌سازی ضریب زبری مانینگ با کاربرد روش گروه نفوذ اصلاح شده

جدول ۲. نمایی از پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس و ضریب زبری مانینگ در روش‌های متفاوت

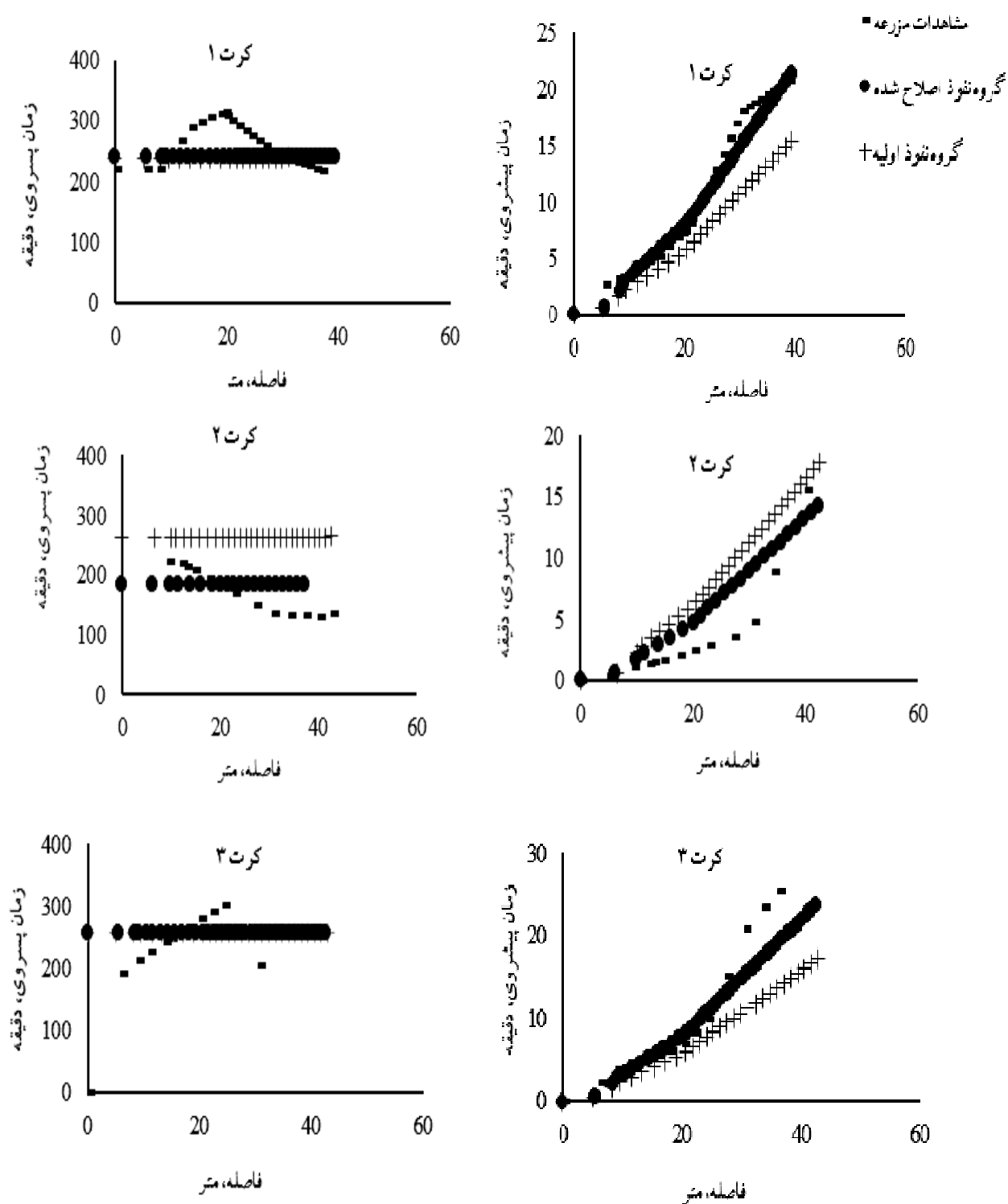
مشخصات	روش گروه نفوذ اولیه	فاز پیشروی و ذخیره	فاز پسروی
کرت ۱	$n=0.09$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$	$n=0.15$ و $Z = 0.0052t^{0.387} + 0.00029t$	$n=0.01$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$
کرت ۲	$n=0.15$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$	$n=0.06$ و $Z = 0.006t^{0.387} + 0.00034t$	$n=0.3$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$
کرت ۳	$n=0.09$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$	$n=0.15$ و $Z = 0.0052t^{0.387} + 0.00029t$	$n=0.01$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$
کرت ۴	$n=0.05$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$	$n=0.1$ و $Z = 0.0052t^{0.387} + 0.00029t$	$n=0.01$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$
کرت ۵	$n=0.05$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$	$n=0.09$ و $Z = 0.0122t^{0.387} + 0.0007t$	$n=0.01$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$
کرت ۶	$n=0.05$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$	$n=0.09$ و $Z = 0.0122t^{0.387} + 0.0007t$	$n=0.01$ و $Z = 0.003t^{0.387} + 0.00017t$

در شکل ۳ تغییرات زمانی حجم ذخیره سطحی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با روش گروه نفوذ اولیه و روش گروه نفوذ اصلاح شده برای شش کرت آزمایشی ارائه شده است. براساس این شکل بین دو روش از نظر برآورد حجم ذخیره سطحی تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود دارد. همچنین، خطای نسبی برآورد حجم ذخیره سطحی در روش گروه نفوذ اصلاح شده کمتر از روش گروه نفوذ اولیه است (خطای نسبی برآورد حجم ذخیره سطحی در روش نفوذ اولیه برای کرت شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ برابر با ۰/۲۷، ۰/۳۱، ۰/۳۲، ۰/۳۲، ۰/۴۲ و ۰/۹۸ است. خطای نسبی برآورد حجم ذخیره سطحی در روش گروه نفوذ اصلاح شده برای کرت شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ برابر با ۰/۱۷، ۰/۸۱، ۰/۶۶، ۰/۲۶ و ۰/۳۲ است). بنابراین عدم لحاظ شرایط هیدرولیکی آبیاری در تخمین پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ منجر به خطاهای قابل توجه در برآورد حجم ذخیره سطحی و در نتیجه نفوذ خواهد شد. نتایج آنالیز حساسیت انجام شده توسط هارون الرشید (۹) نیز نشان داد که ± 3 درصد و ± 5 درصد از تغییرات ضریب زبری مانینگ منجر به ± 10 درصد و ± 20 درصد تغییرات عمق آب خواهد بود که در ذخیره سطحی و در نتیجه نفوذ مؤثر خواهد بود.

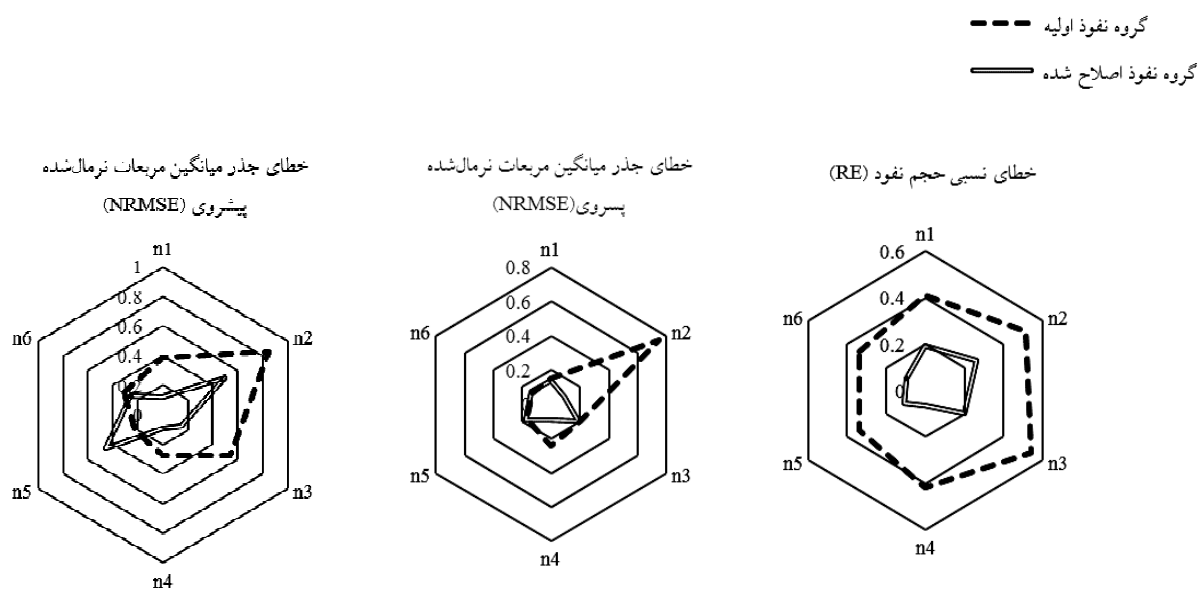
در شکل ۴ پیشروی و پسروی مشاهده شده در مزرعه و پیشروی و پسروی شبیه‌سازی شده با روش گروه نفوذ اولیه و روش گروه نفوذ اصلاح شده برای سه کرت (کرت ۱، ۲ و ۳) آزمایشی ارائه شده است. با توجه به این شکل دقت برآورد پیشروی در روش گروه نفوذ اصلاح شده به صورت معنی‌دار بیشتر از روش گروه نفوذ اولیه است. در کرت شماره یک و سه روش گروه نفوذ اولیه و روش گروه نفوذ اصلاح شده تفاوت معنی‌داری از لحاظ برآورد پسروی نداشته‌اند. در کرت شماره دو و چهار، تفاوت روش گروه نفوذ اصلاح شده با روش گروه نفوذ اولیه از نظر برآورد پسروی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین، در کرت شماره پنج و شش، تفاوت بین دو روش در برآورد پسروی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. در شکل ۵ خطای برآورد پیشروی، پسروی و حجم نفوذ ارائه شده است. با توجه به این شکل، در هر شش کرت خطای جذر میانگین مربعات نرمال‌شده (NRMSE) برآورد پیشروی در روش گروه نفوذ اولیه بین ۰/۱۶ تا ۰/۸۵ و این خطا برای گروه نفوذ اصلاح شده بین ۰/۰۹ تا ۰/۵ است. NRMSE پسروی در روش گروه نفوذ اولیه بین ۰/۱۵ تا ۰/۷۵ و این خطا برای گروه نفوذ اصلاح شده بین ۰/۰۹ تا ۰/۳۶ است. بر اساس نتایج این شکل روش گروه نفوذ اصلاح شده به صورت قابل توجهی قادر



شکل ۳. تغییرات زمانی حجم ذخیره سطحی مشاهده و شبیه‌سازی شده در کرت‌های آزمایشی



شکل ۴. مقایسه مقادیر پیشروی و پسروی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در کرت‌های آزمایشی شماره ۱، ۲ و ۳



شکل ۵. خطای برآورد زمان‌های پیشروی، پسروی و حجم نفوذ در روش‌های متفاوت (n1 تا n6 شماره کرت ۱ تا ۶)

$$NRMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \times \frac{100}{O_i}$$

(Si: مقادیر شبیه‌سازی شده مدل، Oi: مقادیر اندازه‌گیری شده، \bar{O} : میانگین ارقام اندازه‌گیری شده)

نتیجه‌گیری

در این مطالعه روش گروه نفوذ USDA- NRCS (روش گروه نفوذ اولیه مبتنی بر داده‌های بافت خاک) مورد بررسی و اصلاح قرار گرفت. اصلاح این روش تحت عنوان گروه نفوذ اصلاح شده بر اساس دبی جریان ورودی به کرت برای فاز پیشروی و ذخیره انجام شد و سپس بهینه‌سازی ضریب زبری مانینگ بر اساس زمان‌های پیشروی و پسروی و تغییرات زمانی حجم ذخیره سطحی مشاهده شده در دو مرحله پیشروی- ذخیره و مرحله پسروی انجام شد. نتایج نشان داد که روش گروه نفوذ اصلاح شده در مقایسه با روش گروه نفوذ اولیه (مبتنی بر اطلاعات بافت خاک) منجر به بهبود قابل توجه برآورد پیشروی، پسروی، حجم ذخیره سطحی و حجم نفوذ شده است. بر اساس نتایج این مطالعه استفاده از روش گروه نفوذ USDA-NRCS مبتنی بر اطلاعات خاک بدون مشاهدات مزرعه‌ای در آبیاری کرتی منجر به دقت کم در برآورد نفوذ آبیاری کرتی خواهد شد. روش بهینه‌سازی ارائه‌شده در این

به کاهش خطای برآورد پیشروی و پسروی نسبت به روش گروه نفوذ اولیه شده است. به‌طور مشابه نتایج مطالعه نای و همکاران (۱۲) نشان داد که چشم‌پوشی از تغییرات ضریب زبری مانینگ و پارامترهای معادله نفوذ در طول آبیاری منجر به خطای قابل توجه در برآورد پیشروی خواهد شد. خطای نسبی برآورد حجم نفوذ به مقدار قابل توجهی در روش گروه نفوذ اولیه بیشتر است (بین ۰/۴۱- تا ۰/۵۴-) و در هر شش کرت منجر به برآورد کمتر حجم نفوذ نسبت به مشاهدات مزرعه شده است. در حالی‌که خطای نسبی برآورد حجم نفوذ در روش گروه نفوذ اصلاح شده بین ۰/۰۶- تا ۰/۳۵- است. بنابراین، کاربرد روش گروه نفوذ اصلاح شده تا حد قابل توجهی منجر به کاهش خطای برآورد حجم نفوذ نسبت به روش گروه نفوذ اولیه شده است. نتایج مطالعه بهزاد و شوشتری (۳) نیز تأییدکننده افزایش دقت معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس با تصحیح این معادله با توجه به دبی جریان ورودی است.

است) حجم محاسبات کمتری داشته و با سرعت بیشتری قادر به ارائه معادله نفوذ و ضریب زبری مانینگ مناسب است.

پژوهش ضمن افزایش دقت برآورد پیشروی، پیروی و نفوذ در آبیاری کرتی به دلیل بهینه‌سازی فقط یک پارامتر (ضریب زبری مانینگ) نسبت به روش‌های بهینه‌سازی کامل (که نیازمند بهینه‌سازی پارامترهای a ، k ، f_0 و n بر اساس شرایط مزرعه

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., M. M. Mahmoodian Shooshtari and J. Feyen. 2003. Evaluation of various surface irrigation numerical simulation models. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129(3): 208-213.
2. Bautista, E., A. J. Clemmens, T. S. Strelkoff and M. Niblack. 2009. Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR-Example application. *Agricultural Water Management* 96: 1162-1169.
3. Behzad, M. and M. M. Shooshtary. 1997. Effect of inflow rate on the furrow infiltration. *In: The Second Iranian Congress on Soil and Water Issues*. Tehran, Iran (In Farsi).
4. Chari, M. M., K. Davari, B. Ghahraman and A. N. Ziaei. 2019. General equation for advance and recession of water in border irrigation. *Irrigation and Drainage* 68(2): 476-487.
5. Clemmens, A. J., D. E. Eisenhauer and B. L. Maheshwari. 2001. Infiltration and roughness equations for surface irrigation: how form influences estimation. *In: Proceeding of International Meeting sponsored by American Society of Association Executives (ASAE)*, Sacramento, California, USA.
6. Ghahremannejad, M., S. Boroomandnasab, M. Behzad, A. A. Naseri and A. Sheini Dashtgol. 2015. Evaluating the Accuracy of Revised USDA-NRCS Method in Estimating Infiltration Parameters in Amir Kabir Agro Industrial Fields' Furrow Irrigation Systems. *Journal of Water and Soil Science* 18(70): 69-79 (In Farsi).
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. and R. J. Smith. 2015. SISCO: Surface irrigation simulation, calibration and optimization. *Irrigation Science* 33(5):339-355.
9. Harun-ur-Rashid, M. 1990. Estimation of maning's roughness coefficient for basin and border irrigation. *Agricultural Water Management* 18: 29-33.
10. Maheshwari, B. L., T. A. McMahon and A. K. Turner. 1990. Sensitivity analysis of parameters of border irrigation models. *Agricultural Water Management* 18: 277-287.
11. Mailapalli, D.R., N.S. Raghuwanshi, R. Singh, G.H. and F. Schmitz Lennartz. 2008. Spatial and temporal variation of manning's roughness coefficient in furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 34:185-192.
12. Nie, W., L. Fei and X. Ma. 2014. Impact of infiltration parameters and Manning roughness on the advance trajectory and irrigation performance for closed-end furrows. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12(4): 1180-1191.
13. 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.
14. Salahou, M. K., X. Jiao, H. Lu and W. Guo. 2020. An improved approach to estimating the infiltration characteristics in surface irrigation systems. *PlosOne* 15(6):1-16.
15. Sepaskhah, A. R. and H. Bonder. 2002. Estimation of Manning roughness coefficient for bare and vegetated furrow irrigation. *Biosystems Engineering* 82 (3): 351-357.
16. Shokati Amghani, M., K. H. Kalantari., A. Asadi and H. Shabanali Fami. 2018. A survey of agriculture land dispersion and fragmentation at both global and Iranian levels. *Journal of Land Management* 6(1):63-83.
17. Strelkoff, T. S., A. J. Clemmens., M. El-Ansary and M. Awad. 1999. Surface irrigation evaluation models: Application to level basin in Egypt. *Transaction of the ASAE* 42(4): 1027-1036.
18. Walker, W. R. and G. V. Skogerboe. 1987. *Surface Irrigation: Theory and Practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA.
19. Walker, W. R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131:129-13.
20. Walker, W. R. and C. Prestwich and T. Spofford. 2006. Development of the revised USDA-NRCS intake families for surface irrigation. *Agricultural Water Management* 85: 157-164.

A Two-Level Optimization of the Manning Roughness Coefficient Method Based on the Modification of USDA-NRCS Method for Basin Irrigation Evaluation

B. Moravejalahkami^{1*} and M. H. Rahimian²

(Received: July 3-2021; Accepted: August 24-2021)

Abstract

The current research was performed to present a quick and proper method for basin irrigation infiltration equation estimation by optimization of the Manning roughness coefficient. A two-level optimization of the Manning roughness coefficient method was presented by developing a zimod simulation model and initial intake families method, USDA-NRCS, (infiltration equation based on soil characteristics), and modified intake families (infiltration equation based on soil characteristics and inflow discharge). The investigation of the results of the model based on observed advance, recession, and surface storage showed the relative error of surface storage volume estimation was decreased by 38 to 50 % by adjusting the initial intake families method. The normalized root mean square error (NRMSE) of the advance estimation was between 0.22 to 0.85 for initial intake families and this parameter was between 0.09 to 0.5 for modified intake families. NRMSE of the recession estimation was between 0.13 to 0.75 for initial intake families and this parameter was between 0.09 to 0.19 for modified intake families. The presented method based on modified intake families increases the accuracy of infiltration estimation as compared to the initial intake families method and can evaluate basin irrigation acceptably. In addition, this method needs less time for basin irrigation evaluation as compared to the complete methods of optimization of infiltration parameters and roughness coefficient.

Keywords: Surface irrigation, Zero-inertia, Simulation, Permeability

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

2- Iranian National Salinity Research Center, NSRC., Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

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