

ارزیابی دقت روش USDA-NRCS اصلاح شده در برآورد غیرمستقیم پارامترهای معادله نفوذ (مطالعه موردی آبیاری جویچه‌ای مزارع کشت و صنعت امیرکبیر)

مصطفی قهرمان‌نژاد^{۱*}، سعید برومندنسب^۱، مجید بهزاد^۱، عبدالعلی ناصری^۱ و علی شینی دشتگل^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۹)

چکیده

نفوذپذیری به‌عنوان فرایندی که انتقال و توزیع آب از سطح به نیم‌رخ خاک را انجام می‌دهد، بیشترین تأثیر را در راندمان و یکنواختی آبیاری دارد. استفاده از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری نفوذ مانند روش موازنه حجم اولاً مستلزم صرف وقت، دقت و هزینه زیاد بوده و ثانیاً قبل از آماده‌سازی زمین و در زمان انجام مطالعات، استفاده از این روش میسر نیست. روش USDA-NRCS اصلاح شده برای تبدیل پارامترها به شرایط هیدرولیکی جدید کاربرد دارد. در این تحقیق، دقت روش USDA-NRCS اصلی و USDA-NRCS اصلاح شده در برآورد پارامترهای معادله نفوذ سیستم‌های آبیاری شیاری مزارع نیشکر کشت و صنعت امیرکبیر اهواز، بررسی گردید. برای این منظور، پارامترهای نفوذ و متوسط نفوذ تجمعی ۶ ساعته برای سیستم‌های آبیاری شیاری این منطقه به چهار روش USDA-NRCS اصلی، USDA-NRCS اصلاح شده برای آبیاری شیاری، USDA-NRCS اصلاح شده برای آبیاری نواری و روش مستقیم (ورودی-خروجی) برآورد شد و روش مستقیم مبنای مقایسه قرار گرفت. جهت تعیین مقدار خطای هر یک از مدل‌ها از چهار شاخص آماری متوسط خطای پیش بینی مدل (E_p)، متوسط خطای نسبی (E_n)، توزیع نسبت به خط ۴۵ درجه (λ) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. بر طبق نتایج حاصل، روش USDA-NRCS اصلاح شده با لحاظ روابط مربوط به آبیاری نواری با متوسط مقادیر λ ، R^2 ، E_n و E_p به ترتیب برابر ۰/۹۵، ۹۷، ۵/۶ و ۶/۷ درصد بهترین برآورد را از مقدار نفوذ تجمعی دارد.

واژه‌های کلیدی: معادله نفوذ، آزمایش استوانه‌های مضاعف، روش ورودی-خروجی، شرایط هیدرولیکی

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

۲. واحد تحقیقات شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، اهواز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.gahraman@gmail.com

مقدمه

اندازه‌گیری یا پیش‌بینی شدت نفوذ به‌منظور برآورد آب وارد شده به خاک و توزیع آن ضروری است. نفوذپذیری هم‌چنین بر پارامترهای پیشروی و پسروی آب در مزرعه تأثیر دارد. بنابراین این پارامتر در تعیین مقدار مناسب جریان ورودی آب که باید به مزرعه داده شود اهمیت دارد (۲). روش‌های مرسوم اندازه‌گیری نفوذ هم‌چون استوانه‌های مضاعف و شیارهای مسدود اغلب تخمین غیر واقعی از نفوذ را ارائه می‌دهند. روش‌های مستقیم اندازه‌گیری نفوذ مانند روش موازنه حجم به‌دلیل در نظر گرفتن شرایط طبیعی زبری، شکل هندسی و محیط خیس شده مقطع جریان از دقت نسبتاً خوبی برخوردار است. اما استفاده از این روش اولاً مستلزم صرف وقت و هزینه بالا و اندازه‌گیری‌های دقیق مزرعه‌ای بوده و ثانیاً قبل از آماده‌سازی زمین و در زمان انجام مطالعات، استفاده از این روش میسر نیست. در سال ۱۹۷۴ سرویس حفاظت منابع خاک (SCS) وزارت کشاورزی آمریکا برای توسعه روابط کلی نفوذ و به‌منظور ارزیابی آبیاری سطحی و طراحی در زمانی که اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای موجود نیست، تلاش همه‌جانبه‌ای را شروع کرد. این منحنی‌ها ابتدا برای بخش آبیاری نواری ارائه شدند (۱۵). در سال ۱۹۸۴ منحنی‌های ارائه شده برای آبیاری نواری، توسط USDA-NRCS برای جویچه‌ها اصلاح شدند (۱۴). این دو بخش در سال ۲۰۰۴ با هم تلفیق شده و اصلاح شدند و در حال حاضر به‌عنوان بخش ۶۲۳، فصل ۴، آبیاری سطحی در دسترس هستند (۱۳). نظرسنجی از کاربران نرم‌افزارهای آبیاری سطحی نشان داد که فقط تعداد کمی از روش‌های برآورد پارامترهای نفوذ در کارهای عملی استفاده می‌شوند (۴) و پرسنل USDA در کارهای روزمره خود از منحنی‌های NRCS استفاده می‌کنند (۱۶). منحنی‌های نفوذ روابط جامعی هستند که رفتار نفوذ خاک را طبقه‌بندی می‌کنند. به‌لحاظ این‌که در راهنمای NRCS (مانند NRCS 1977) مقادیر مختلف منحنی‌های نفوذ برای همه رده‌های بافت خاک، گردآوری شده است، پرسنل USDA-NRCS فقط براساس خصوصیات خاک و بدون هیچ‌گونه اندازه‌گیری صحرائی مقداری را برای یک مزرعه

انتخاب می‌کنند (۲). منحنی‌های نفوذ می‌توانند در ترکیب با مدل‌ها استفاده شوند، مخصوصاً اگر داده‌های ارزیابی برای روابط توازن حجم موجود باشند (۳، ۱۱ و ۱۷). یکی از تغییرات اساسی در بخش اصلاح‌شده، مربوط به تعریف و کاربرد مفهوم منحنی نفوذ است. واکر و همکاران در سال ۲۰۰۶ فرضیات و روش‌های استفاده شده برای منحنی‌های NRCS اصلی را بررسی کردند (۲۰). این منحنی‌ها رفتار نفوذ خاک را براساس شدت نفوذ پایه بررسی می‌کنند و به‌صورت وسیعی برای آبیاری نواری توسعه یافته‌اند. به‌همین دلیل این منحنی‌ها در آبیاری نواری - کرتی بیشتر از آبیاری شیار کاربرد دارند. در سال ۲۰۰۴، NRCS تصمیم گرفت که به‌منظور افزایش کاربرد این منحنی‌ها در آبیاری شیار، آنها را اصلاح کند (۱۸ و ۲۰). بر خلاف روش USDA-NRCS اصلی، واکر و همکاران در سال ۲۰۰۶ نفوذ را براساس متوسط شدت نفوذ در ۶ ساعت اولیه فرصت نفوذ طبقه‌بندی کردند (۲۰). منحنی‌های جدید برای داده‌های نفوذ آبیاری شیار توسعه پیدا کرد و سپس برای شرایط آبیاری نواری تعدیل شد. این اندازه‌گیری‌های نفوذ تحت شرایط شدت جریان ورودی، شیب، سطح مقطع و شرایط زبری به‌دست آمد. با اذعان به این‌که شرایط جریان روی عمق جریان و به تبع آن عمق جریان روی مقدار نفوذ در شیار مؤثر است، واکر و همکاران (۲۰) روش‌هایی را برای تبدیل پارامترها به شرایط هیدرولیکی جدید پیشنهاد کردند. این روش‌ها برای تبدیل به پارامترهای شرایط اواخر فصل آبیاری نیز به‌کار می‌رود. جنبه مهم دیگر منحنی‌های نفوذ جدید استفاده از معادله کوستیاکف لوئیس است که نفوذ پایه را بهتر از فرمول استفاده شده در منحنی‌های NRCS اصلی نشان می‌دهد.

روش‌های استفاده شده برای تبدیل پارامترهای نفوذ آبیاری شیار برای شرایط هیدرولیکی مختلف تجربی هستند (۲). واکر و همکاران (۲۰) با استفاده از داده‌های موجود، روابطی را برای مقادیر پارامترهای مرجع $(B_{ref}, a_{ref}, k_{ref})$ و شرایط هیدرولیکی مرجع (دبی ورودی Q_{ref} و محیط خیس شده wp_{ref}) به‌عنوان تابعی از شماره منحنی، IF ، ارائه دادند (۲). برای به‌دست آوردن پارامترهای نفوذ، پارامترهای مرجع که در بالا ذکر شد در فاکتور

روی مقدار نفوذ را در ابتدای فصل آبیاری نشان داد که تأثیر کمی در انتهای فصل آبیاری دارد. رودریگوئز آوارز در سال ۲۰۰۳ برای ϕ در معادله بالا رابطه‌ای را بر حسب تابعی از توان a در معادله‌ی کوستیاکف و توان رابطه‌ی استفاده شده در این مطالعه برای توصیف سطح مقطع جویچه ارائه کردند (۹).

واکر و کاسیلینگام در سال ۲۰۰۴ داده‌های آبیاری جویچه‌ای را تحلیل کردند و به این نتیجه رسیدند که زمانی که ضریب زبری n افزایش می‌یابد سطح مقطع جریان در طول اندکی کاهش دارد. این محققین نتیجه گرفتند که این اثر متقابل توانایی ما را برای اندازه‌گیری و مدل کردن تأثیر محیط خیس شده بر روی آبیاری جویچه‌ای تحت شرایط مزرعه کاهش می‌دهد (۱۸).

هدف از این تحقیق ارزیابی دقت روش USDA-NRCS اصلاح شده و روش USDA-NRCS اصلی در تخمین پارامترهای آبیاری شیاری اجرا شده در مزارع نیشکر کشت و صنعت امیرکبیر اهواز است.

مواد و روش‌ها

زمان و محل اجرای طرح: این طرح در مزرعه ARC2-7 از مزارع تحقیقاتی مؤسسه‌ی تحقیقات توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان واقع در کشت و صنعت امیرکبیر در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ به اجرا در آمد.

جانمایی طرح آزمایش‌ها

با توجه به این‌که یکی از اهداف مطالعه بررسی ضرایب معادله نفوذ در حالت دینامیک می‌باشد و روش ورودی-خروجی این ضرایب را با توجه به شرایط هیدرولیکی مزرعه به‌دست آورده و طول بیشتری از مزرعه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد روش مذکور به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت انجام مطالعات انتخاب گردید. هم‌چنین برای محاسبه ضرایب معادله‌ی نفوذ به روش USDA-NRCS اصلاح‌شده و اصلی آزمایش‌هاستوانه‌های مضاعف انجام شد. برای اندازه‌گیری نفوذ آب در خاک به‌روش ورودی-خروجی پنج رفتار قطعه برای بررسی اثر تغییرات

شرایط آبیاری (Irrigation condition factor, ICF) و در نسبت محیط خیس شده در شرایط آبیاری خاص (شیب، سطح مقطع، شدت جریان ورودی) بر محیط خیس شده مرجع (WP_{ref}) ضرب می‌شود. مقادیر ضریب ICF برای شرایط معمولی آبیاری برابر ۰/۸، برای شرایط سرچ اولیه ۰/۸۵ و برای شرایط سرچ ثانویه ۰/۷۵ می‌باشد که با توجه به شرایط محلی تغییر می‌کند (۲۰). از این رو فرض بر این است که متوسط خصوصیات نفوذ در طول شیار با تغییر محیط خیس شده بالادست به‌صورت خطی تغییر می‌کند. این فرض توسط کار اولیه فانگامیر و رامسی تأیید می‌شود (به نقل از ۵ و ۱۲). چون نفوذ افقی در شیار متفاوت از نفوذ عمودی در عمق شیار است و باید متفاوت از نفوذ یک بعدی در آبیاری نواری و کرتی باشد، برای تعیین پارامترهای آبیاری کرتی و نواری، محیط خیس شده معادل تعریف می‌شود. برای تبدیل پارامترهای نفوذ مرجع آبیاری شیاری به پارامترهای آبیاری نواری و کرتی به‌کار می‌رود (۱۶). WP_{eqv} از معادله‌ی زیر به‌دست می‌آید (۱۶):

$$WP_{eqv} = WP_{ref}^{\phi} \quad [1]$$

واکر در سال ۲۰۰۸ (۱۹) معادله‌ی بالا را براساس خصوصیات نفوذ محاسبه شده مدل Hydrus-2D (۱۰) امتحان کرد و به این نتیجه رسید که این معادله مقدار نفوذ آبیاری نواری برای عمق‌های ۱۸۰-۱۰۰ mm را به‌طور قابل قبولی برآورد می‌کند. برای عمق‌های بیشتر توان کوچک‌تری (۰/۳۴ - ۰/۳) پیشنهاد شد. اوپانارت و همکاران در سال ۲۰۰۲ (۸) و واکر و کاسیلینگام در سال ۲۰۰۴ (۱۸) پارامترهای نفوذ آبیاری جویچه‌ای را بررسی کردند. اولین نویسنده رابطه‌ی زیر را برای محاسبه‌ی نفوذ در آبیاری جویچه‌ای به‌عنوان تابعی از محیط خیس شده پیشنهاد کرد:

$$Z = Z_{ref} \left(\frac{WP}{WP_{ref}} \right)^{\phi} \quad [2]$$

آن‌ها از طریق اندازه‌گیری‌های صحرائی مقدار ϕ را برای آبیاری اولیه برابر ۰/۶۴ و برای آبیاری‌های بعدی ۰/۲۹ تعیین کردند. از این رو اندازه‌گیری آنها تأثیر غیرخطی محیط خیس شده بر

روش ورودی- خروجی: حجم آب نفوذ مشاهده‌ای از تفاضل حجم آب ورودی و خروجی به دست آمد:

$$V_{ob} = V_{in} - V_{out} \quad [3]$$

حجم آب ورودی به هر قطعه (V_{in}) برابر مساحت زیر منحنی هیدروگراف جریان ورودی به آن قطعه است و حجم آب خروجی از هر قطعه (V_{out}) برابر مساحت زیر منحنی هیدروگراف جریان ورودی به قطعه بعدی است.

برای محاسبه شدت نفوذ نهایی در روش ورودی- خروجی از رابطه‌ی زیر استفاده شد:

$$f_o = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \quad [4]$$

که در این رابطه Q_{in} و Q_{out} به ترتیب شدت جریان ورودی و خروجی برای حالتی است که قرائت فلوم‌های ورودی و خروجی به هر مقطع به مقدار ثابتی برسد و L طول شیار است. **روش USDA-NRCS:** برای تعیین ضرایب معادله نفوذ به روش USDA-NRCS اصلاح شده و اصلی از روابط ارائه شده توسط واکر و همکاران (۲۰) استفاده شد.

اندازه گیری محیط خیس شده: در این تحقیق محیط خیس شده به سه روش مقطع سنجی (WP)، روش NRCS (WP_{NRCS}) و محیط خیس شده مرجع (WP_{ref}) تعیین شد. در روش مقطع سنجی برای تعیین محیط خیس شده از دستگاه مقطع سنج استفاده شد. برای تعیین محیط خیس شده به روش NRCS از معادله ۵ استفاده شد که این معادله از معادله مانینگ به دست آمده است.

$$WP = 0.265 \left(\frac{n Q_{in}}{\sqrt{S}} \right)^{0.4247} + 0.14 \quad [5]$$

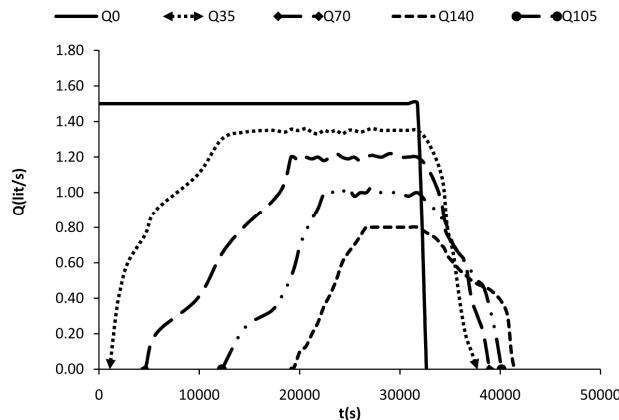
برای تعیین WP_{ref} نیز از رابطه تجربی ارائه شده در روش USDA-NRCS اصلاح شده استفاده شد (۲۰).

تحلیل آماری: پس از اتمام اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و استخراج خروجی هر مدل، آمار واقعی و شبیه‌سازی شده با هم مقایسه شدند. در این تحقیق برای مقایسه و ارزیابی مقادیر مشاهده شده X_0 ، مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها X_p ، از برازش داده‌ها به معادله رگرسیونی زیر استفاده شده است

$$X_p = \lambda X_0 \quad [6]$$

مکانی و تعداد هفت آبیاری برای بررسی اثر تغییرات زمانی بر نفوذپذیری در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها در یک پلات شامل سه جویچه انجام گرفت که جویچه میانی جهت اندازه‌گیری و جویچه‌های کناری به عنوان جویچه‌های محافظ در نظر گرفته شدند. فاصله جویچه‌ها ۱/۸ متر و طول هر جویچه ۲۵۰ متر بود که ۱۴۰ متر آن برای آزمایش انتخاب گردید. برای بررسی تغییرات مکانی نفوذ در طول جویچه بدین طریق عمل شد که به جای استفاده از دو فلوم در ابتدا و انتهای جویچه، هر جویچه به چهار قطعه با طول ۳۵ متر تقسیم شده و پنج فلوم برای اندازه‌گیری جریان مورد استفاده قرار گرفت. به وسیله فلوم اول شدت جریان ورودی قطعه اول اندازه‌گیری شد و از شدت جریان اندازه‌گیری شده با فلوم دوم به عنوان شدت جریان خروجی قطعه اول و هم‌چنین به عنوان شدت جریان ورودی قطعه دوم و از شدت جریان اندازه‌گیری شده با فلوم سوم به عنوان شدت جریان خروجی قطعه دوم و شدت جریان ورودی قطعه سوم استفاده شد. برای اندازه‌گیری شدت جریان از فلوم فایبرگلاس W.S.C تیپ دو استفاده شد.

ورودی و خروجی‌های جریان در خلال هر آبیاری، توسط سنجش عمق جریان در فلوم‌ها اندازه‌گیری گردید و با استفاده از رابطه دبی-اشل ارائه شده توسط کارخانه سازنده فلوم، شدت جریان ورودی و خروجی برای هر قطعه تعیین شد. زمان پیشروی و پسروی در ۱۴ نقطه به فواصل ۱۰ متری اندازه‌گیری و ثبت گردید. حجم آب کاربردی، حجم رواناب، متوسط میزان نفوذ آب برای هر قطعه و متوسط نفوذ آب در جویچه از هیدروگراف‌های ورودی و خروجی جریان استخراج شدند. سپس برای هر یک از چهار قسمت یک نفوذ نهایی تعیین شد. برای تعیین ضرایب معادله‌ی نفوذ به روش USDA-NRCS اصلاح شده و اصلی در هر یک از قطعات یک آزمایش استوانه‌های مضاعف انجام گرفت و با تعیین شدت نفوذ نهایی خاک (f_0) و متوسط شدت نفوذ شش ساعته به ترتیب ضرایب معادله‌ی نفوذ USDA-NRCS اصلی و اصلاح شده تعیین شدند و سپس نتایج این دو روش با روش ورودی- خروجی مقایسه گردید.



شکل ۱. هیدروگراف جریان ورودی به هر مقطع در آبیاری اول

جدول ۱. پارامترهای معادله نفوذ به روش مستقیم (ورودی - خروجی)

| شماره آبیاری | f_0 (m ³ /m/min) | a | k (m ³ /m/(min)) ^a | z ϕhr(m) | wp (m) |
|--------------|----------------------------------|------|---|-------------|-----------|
| ۱ | ۰/۰۰۰۲۳ | ۰/۴۵ | ۰/۰۰۲۱ | ۰/۱۱۳ | ۰/۸۲۹ |
| ۲ | ۰/۰۰۰۲۱ | ۰/۴۳ | ۰/۰۰۱۹ | ۰/۰۹۹ | ۰/۸۳۳ |
| ۳ | ۰/۰۰۰۱۹ | ۰/۴۱ | ۰/۰۰۱۷ | ۰/۰۸۷ | ۰/۸۳۸ |
| ۴ | ۰/۰۰۰۱۸ | ۰/۴۰ | ۰/۰۰۱۶ | ۰/۰۸۱ | ۰/۸۴۰ |
| ۵ | ۰/۰۰۰۱۸ | ۰/۳۹ | ۰/۰۰۱۶ | ۰/۰۸۱ | ۰/۸۴۱ |
| ۶ | ۰/۰۰۰۱۸ | ۰/۳۹ | ۰/۰۰۱۷ | ۰/۰۸۴ | ۰/۸۴۳ |
| ۷ | ۰/۰۰۰۱۸ | ۰/۳۹ | ۰/۰۰۱۷ | ۰/۰۸۴ | ۰/۸۴۵ |

مدل، E_a ، نیز استفاده شد تا بدین وسیله دیدگاهی کلی از عملکرد کلیه مدل‌ها به دست آید. این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E_a = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X_o - X_p|}{X_o} \quad [8]$$

نتایج

هیدروگراف جریان ورودی به هر قطعه برای آبیاری اول برای نمونه در شکل ۱ ارائه شده است. در این شکل Q_0 ، Q_{35} ، Q_{70} ، Q_{140} و Q_{105} به ترتیب جریان ورودی به قطعات اول، دوم، سوم، چهارم و دبی خروجی از جویچه است. مقدار ضرایب معادله نفوذ به چهار روش مستقیم (ورودی -

که در آن، λ : شیب بهترین خط برازش داده شده بر داده‌ها می‌باشد.

همچنین شاخص ضریب تبیین (R^2) تعیین کننده تناسب برازش معادله فوق با داده‌ها می‌باشد. در این معادله مقادیر $\lambda < 1$ نشان دهنده پیش‌بینی کمتر از مقدار واقعی و $\lambda > 1$ پیش‌بینی بیشتر از مقادیر واقعی می‌باشد. درصد متوسط خطای پیش‌بینی مدل‌های انتخاب شده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E_r = |1 - \lambda| \times 100 \quad [7]$$

شاخص فوق نشان‌دهنده روند کلی مقدار خطا در اکثر داده‌های به کار رفته در معادله (۶) می‌باشد. به منظور ارزیابی کلی از قابلیت کاربرد مدل‌های انتخاب شده برای شرایط مزرعه‌ای از امکان کاربرد معیار درصد متوسط خطای نسبی

جدول ۲. پارامترهای معادله‌ی نفوذ به روش USDA-NRCS اصلی

| شماره آبیاری | f_0 (m/min) | a | b | Wp NRCS (m) | W (m) | Z ϕhr(m) |
|--------------|------------------|-------|-------|----------------|----------|-------------|
| ۱ | ۰/۰۰۰۰۲۴ | ۰/۰۷۸ | ۰/۶۹۸ | ۰/۶۳۱ | ۱/۳ | ۰/۰۵۷ |
| ۲ | ۰/۰۰۰۰۲۲ | ۰/۰۶۶ | ۰/۶۷۲ | ۰/۶۳۱ | ۱/۳ | ۰/۰۵۱ |
| ۳ | ۰/۰۰۰۰۲۰ | ۰/۰۶۵ | ۰/۶۶۵ | ۰/۶۳۱ | ۱/۳ | ۰/۰۵۰ |
| ۴ | ۰/۰۰۰۰۲۰ | ۰/۰۶۴ | ۰/۶۶۳ | ۰/۶۳۱ | ۱/۳ | ۰/۰۴۹ |
| ۵ | ۰/۰۰۰۰۱۹ | ۰/۰۶۴ | ۰/۶۶۲ | ۰/۶۳۱ | ۱/۳ | ۰/۰۴۸ |
| ۶ | ۰/۰۰۰۰۱۹ | ۰/۰۶۳ | ۰/۶۶۲ | ۰/۶۳۱ | ۱/۳ | ۰/۰۴۸ |
| ۷ | ۰/۰۰۰۰۲۰ | ۰/۰۶۳ | ۰/۶۶۲ | ۰/۶۳۱ | ۱/۳ | ۰/۰۴۸ |

جدول ۳. پارامترهای مرجع در روش USDA-NRCS اصلاح شده

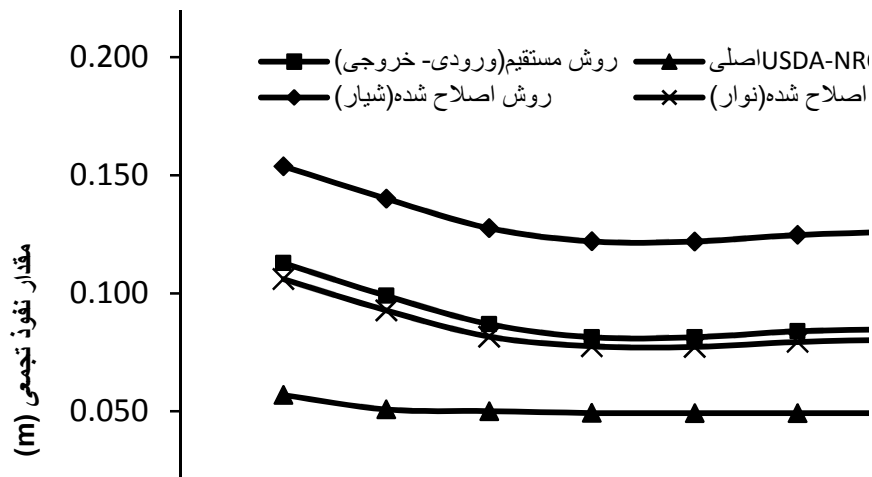
| شماره آبیاری | a_{ref} | f_{0ref} (m ³ /m/min) | K_{ref} (m ³ /m/(min)) ^a | Q_{ref} | Wp_{ref} (m) | Wp_{eqv} (m) | ICF |
|--------------|-----------|---------------------------------------|---|-----------|-------------------|-------------------|------|
| ۱ | ۰/۵۳ | ۰/۰۰۰۰۱۳ | ۰/۰۰۰۱۸ | ۱/۴ | ۰/۲۵ | ۰/۵۷ | ۰/۸۴ |
| ۲ | ۰/۵۱ | ۰/۰۰۰۰۱۲ | ۰/۰۰۰۱۷ | ۱/۳ | ۰/۲۴ | ۰/۵۶ | ۰/۸۳ |
| ۳ | ۰/۴۹ | ۰/۰۰۰۰۱۱ | ۰/۰۰۰۱۶ | ۱/۲ | ۰/۲۳ | ۰/۵۵ | ۰/۸۲ |
| ۴ | ۰/۴۹ | ۰/۰۰۰۰۱۰ | ۰/۰۰۰۱۵ | ۱/۱ | ۰/۲۲ | ۰/۵۴ | ۰/۸۱ |
| ۵ | ۰/۴۸ | ۰/۰۰۰۰۱۰ | ۰/۰۰۰۱۵ | ۱/۱ | ۰/۲۲ | ۰/۵۳ | ۰/۸۱ |
| ۶ | ۰/۴۹ | ۰/۰۰۰۰۱۰ | ۰/۰۰۰۱۵ | ۱/۲ | ۰/۲۲ | ۰/۵۳ | ۰/۸۱ |
| ۷ | ۰/۴۹ | ۰/۰۰۰۰۱۰ | ۰/۰۰۰۱۵ | ۱/۲ | ۰/۲۲ | ۰/۵۳ | ۰/۸۱ |
| متوسط | ۰/۵ | ۰/۰۰۰۰۱۱ | ۰/۰۰۰۱۶ | ۱/۲ | ۰/۲۳ | ۰/۵۳ | ۰/۸۲ |

متوسط‌گیری از نفوذ تجمعی قطعات نفوذ تجمعی کل جویچه در مدت ۳۰۰ دقیقه تعیین شد. روند تغییرات نفوذ تجمعی ۶ ساعته در طول ۷ آبیاری برای هر روش در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، برای همه‌ی روش‌ها در ابتدا مقادیر نفوذ تجمعی با شماره آبیاری کاهش می‌یابد ولی این روند کاهش مربوط به تمام آبیاری‌ها نمی‌باشد به طوری که از آبیاری پنجم به بعد مقدار نفوذ با شدت کمی رو به افزایش گذاشته است. همان‌طور که در این نمودار مشخص است روش USDA-NRCS اصلی مقدار نفوذ تجمعی را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند و روش USDA-NRCS اصلاح شده مقدار نفوذ را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. ولی وقتی شیار مورد نظر را یک نوار فرض می‌شود، نزدیک‌ترین مقدار نفوذ تجمعی نسبت به نفوذ واقعی را برآورد می‌کند.

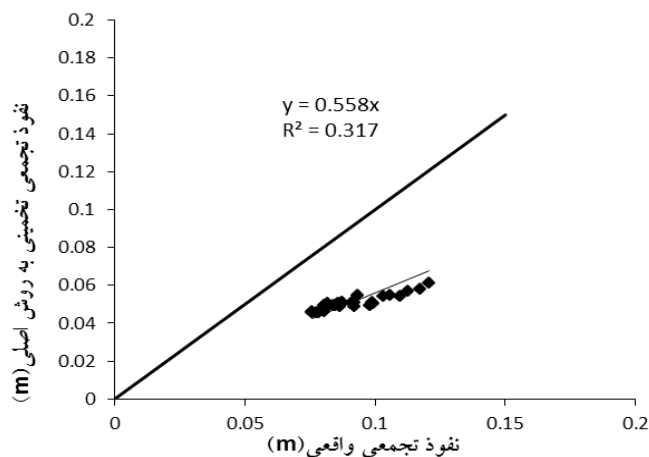
خروجی)، روش USDA-NRCS اصلی، روش USDA-NRCS اصلاح شده با لحاظ روابط مربوط به آبیاری جویچه‌ای و روش USDA-NRCS اصلاح شده با لحاظ روابط مربوط به آبیاری نواری محاسبه شد. نتایج مربوط به روش ورودی - خروجی و روش USDA-NRCS اصلی ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. نتایج محاسبه پارامترهای مرجع در روش USDA-NRCS اصلاح شده در جدول ۳ و پارامترهای معادله نفوذ به روش USDA-NRCS اصلاح شده در جدول ۴ ارائه شده است. جهت بررسی روند تغییرات زمانی نفوذ تجمعی در طول فصل زراعی از مقدار متوسط نفوذ تجمعی برای جویچه در مدت ۳۰۰ دقیقه استفاده شد. بدین صورت که پس از تعیین ضرایب معادله نفوذ برای هر قطعه، نفوذ تجمعی هر یک از قطعات در مدت ۳۰۰ دقیقه به دست آمد و با

جدول ۴. پارامترهای معادله‌ی نفوذ به روش USDA-NRCS اصلاح شده

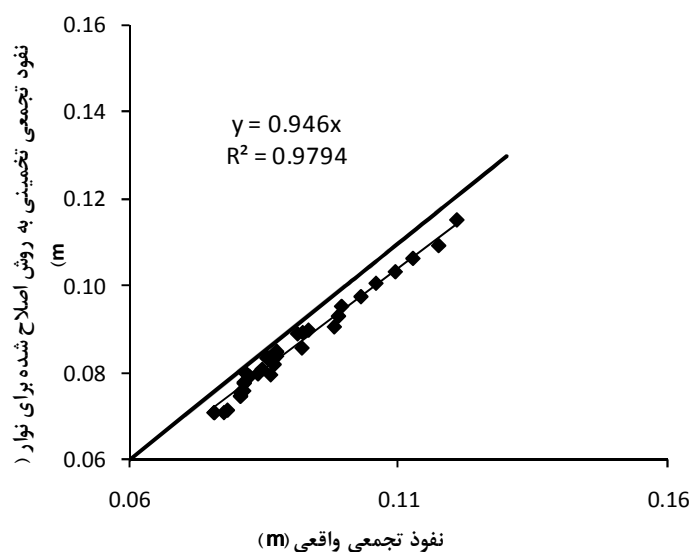
| شماره آبیاری | روابط مربوط به آبیاری نواری | | | روابط مربوط به آبیاری شیاری | | |
|-----------------|---|---|-------------|---|---|-------------|
| | K (m ³ /m/(min)) ^a | F ₀ (m ³ /m/min) | z ϕhr(m) | K (m ³ /m/(min)) ^a | F ₀ (m ³ /m/min) | z ϕhr(m) |
| ۱ | ۰/۰۰۰۲۶ | ۰/۰۰۰۰۱۹ | ۰/۱۱ | ۰/۰۰۰۳۸ | ۰/۰۰۰۰۲۸ | ۰/۱۵۴ |
| ۲ | ۰/۰۰۰۲۵ | ۰/۰۰۰۰۱۷ | ۰/۰۹۳ | ۰/۰۰۰۳۷ | ۰/۰۰۰۰۲۶ | ۰/۱۴۰ |
| ۳ | ۰/۰۰۰۲۳ | ۰/۰۰۰۰۱۶ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۰۰۳۶ | ۰/۰۰۰۰۲۵ | ۰/۱۲۸ |
| ۴ | ۰/۰۰۰۲۲ | ۰/۰۰۰۰۱۵ | ۰/۰۷۸ | ۰/۰۰۰۳۵ | ۰/۰۰۰۰۲۴ | ۰/۱۲۲ |
| ۵ | ۰/۰۰۰۲۲ | ۰/۰۰۰۰۱۵ | ۰/۰۷۷ | ۰/۰۰۰۳۵ | ۰/۰۰۰۰۲۴ | ۰/۱۲۲ |
| ۶ | ۰/۰۰۰۲۳ | ۰/۰۰۰۰۱۵ | ۰/۰۷۹ | ۰/۰۰۰۳۶ | ۰/۰۰۰۰۲۴ | ۰/۱۲۴ |
| ۷ | ۰/۰۰۰۲۳ | ۰/۰۰۰۰۱۶ | ۰/۰۸ | ۰/۰۰۰۳۶ | ۰/۰۰۰۰۲۴ | ۰/۱۲۵ |
| متوسط | ۰/۰۰۰۲۳ | ۰/۰۰۰۰۱۶ | ۰/۰۸۵ | ۰/۰۰۰۳۶ | ۰/۰۰۰۰۲۵ | ۰/۱۳ |



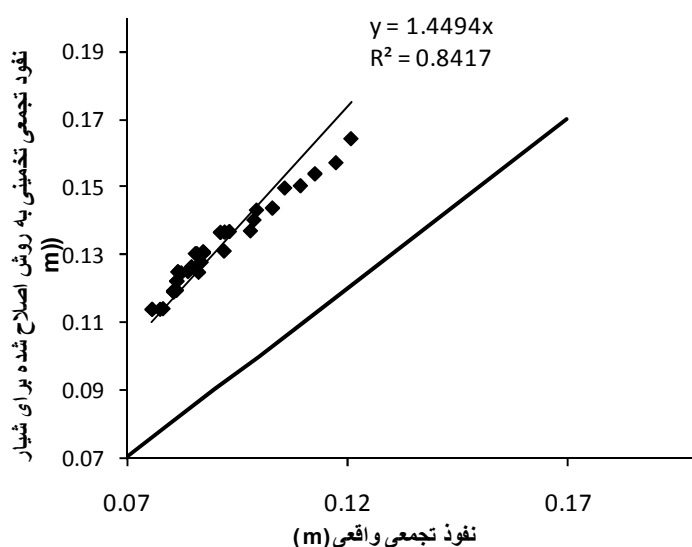
شکل ۲. تغییرات نفوذ تجمعی ۶ ساعته در طول آبیاری‌ها برای هر روش



شکل ۳. برازش نقاط نفوذ تجمعی واقعی نسبت به نقاط محاسبه شده توسط روش USDA-NRCS اصلی



شکل ۴. برازش نقاط نفوذ تجمعی واقعی نسبت به نقاط محاسبه شده توسط روش USDA-NRCS اصلاح شده برای نوار



شکل ۵. برازش نقاط نفوذ تجمعی واقعی نسبت به نقاط محاسبه شده توسط روش USDA-NRCS اصلاح شده برای شیار

مقدار واقعی برآورد می‌کند و روش USDA-NRCS اصلاح شده مقدار نفوذ را بیشتر از مقدار واقعی برای شیار برآورد می‌کند. ولی وقتی شیار مورد نظر را یک نوار در نظر می‌گیریم، روش USDA-NRCS اصلاح شده که متوسط مقادیر λ و R^2 آن به ترتیب برابر ۰/۹۵ و ۹۷ درصد است بهترین برازش را دارد.

نمودار مربوط به برازش نقاط واقعی و محاسبه‌ای در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ آمده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشخص است روش USDA-NRCS اصلاح شده با فرض نوار بجای شیار بهترین برآورد را دارد. خلاصه نتایج برآورد مقدار نفوذ تجمعی برای روش‌های مختلف در جدول ۵ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که روش USDA-NRCS اصلی مقدار نفوذ تجمعی را کمتر از

جدول ۵. متوسط مقادیر پارامترهای ارزیابی و شاخص‌های آماری

| مدل | تعداد مشاهدات (N) | شیب خط (λ) | متوسط خطای پیش‌بینی مدل ($/Er$) | ضرب تبیین ($/R^2$) | متوسط خطای نسبی مدل ($/Ea$) |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| USDA- NRCS اصلی | ۲۸ | ۰/۵۶ | ۴۴/۲ | ۳۲ | ۵۴ |
| USDA- NRCS اصلاح شده برای شیار | ۲۸ | ۱/۴۵ | ۴۵ | ۸۴ | ۵۷/۷ |
| USDA- NRCS اصلاح شده برای نوار | ۲۸ | ۰/۹۵ | ۵/۶ | ۹۷ | ۶/۷ |

بحث

طبق نتایج این تحقیق روش USDA-NRCS اصلاح شده نفوذ را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند و دارای بیشترین مقدار خطا در بین روش‌های مورد نظر است. خطای این روش می‌تواند به این علت باشد که ابعاد جویچه‌های مورد مطالعه نسبت به ابعاد پیشنهادی توسط فائو دارای عرض بیشتر و عمق کمتری هستند همچنین طبق توصیه‌ی فائو شیب جویچه باید حداقل ۰/۰۵ درصد و حداکثر ۰/۵ درصد باشد (۶) که با توجه به شیب ۰/۰۴ درصدی این مزرعه، این مزرعه دارای شیب کمی است. عوامل ذکر شده باعث شده که جویچه‌های مورد نظر در حالت انتها باز خصوصیات آبیاری نواری را داشته باشند و معادلات تجربی حاکم بر آبیاری نواری بیشتر در مورد آن‌ها صدق کند که نتایج حاصل از این تحقیق نیز مؤید این مطلب است. به طوری که روش USDA-NRCS اصلاح شده با لحاظ روابط تجربی مربوط به آبیاری نواری با متوسط مقادیر λ و R^2 به ترتیب برابر ۰/۹۵ و ۹۷ درصد و متوسط خطای پیش‌بینی ۵/۶ درصد، بهترین برآورد را از مقدار نفوذ تجمعی دارد. علت دیگر آن است که رابطه استفاده شده در روش USDA-NRCS اصلاح شده برای تعیین محیط خیس شده مرجع (WP_{ref}) یک رابطه تجربی است و این رابطه، WP_{ref} را کمتر برآورد می‌کند. این عامل باعث می‌شود که پارامترهای k و f_0 بیشتر از مقدار واقعی برآورد شوند و به تبع آن مقدار نفوذ تجمعی بیشتر برآورد شود. مقدار متوسط ICF برای این منطقه برابر ۰/۸۲ است که

تقریباً با نتایج واکر و همکاران (۲۰) مطابقت دارد. آنها مقدار ICF را برای آبیاری پیوسته برابر ۰/۸ تعیین کرده‌اند. هم‌چنین متوسط شدت نفوذ شش ساعته (N) برای اولین آبیاری تقریباً برابر شدت نفوذ نهایی (f_0) در منحنی‌های نفوذ اصلی است. اما برای آبیاری‌های بعدی شدت نفوذ ۶ ساعته کمتر از شدت نفوذ نهایی است که این با نتایج واکر و همکاران (۲۰) منطبق است. طبق نتایج به دست آمده، مقادیر نفوذ تجمعی با شماره آبیاری کاهش می‌یابد ولی این روند کاهش‌ی مربوط به تمام آبیاری‌ها نمی‌باشد به طوری که از آبیاری پنجم به بعد مقدار نفوذ با شدت کمی رو به افزایش گذاشته است. تفاوت مقادیر نفوذ تجمعی بین آبیاری اول و دوم از بقیه آبیاری‌ها بیشتر است. دلیل این امر را می‌توان به نشست خاک و کوچک‌تر شدن خلل و فرج خاک پس از آبیاری اول نسبت داد (۲۰). نتایج گیلس و همکاران (۷) نیز مؤید این مطلب است. طبق نتایج آن‌ها بیشترین تغییرات فصلی نفوذ مربوط به آبیاری اول و دوم است. دلیل افزایش مقدار نفوذ تجمعی از آبیاری پنجم به بعد مربوط به افزایش پوشش گیاهی در سطح جویچه است که به نوبه خود باعث کاهش سرعت پیشروی یا به عبارتی افزایش فرصت نفوذ آب در جویچه و نهایتاً افزایش مقدار نفوذ تجمعی می‌باشد. نتایج برومندنسب و همکاران (۱) نیز تأثیر پوشش گیاهی بر میزان نفوذ را تأیید کرد.

سیاسگزاری

منطقه‌ای آذربایجان شرقی انجام شده است که بدین وسیله تقدیر و تشکر می‌شود.

این تحقیق با حمایت‌های مادی و معنوی گروه آبیاری و زه‌کشی دانشگاه شهید چمران اهواز، مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان و شرکت آب

منابع مورد استفاده

۱. برومندنسب، س و ع، گزین. ۱۳۷۸. تاثیر پوشش گیاهی بر میزان نفوذپذیری خاک در آبیاری نواری. مجله علمی پژوهشی دانشکده کشاورزی. دانشگاه بوعلی سینا. جلد اول. شماره اول.
2. Bautista, E. and W.R Walker. 2010. Advances in estimation of parameters for surface irrigation modeling and management. An ASABE Conference Presentation. Paper Number: IRR10-9643. Phoenix, Arizona. December 5 - 8, 2010
3. Bautista, E., A.J. Clemmens, T.S. Strelkoff, and J. Schlegel. 2009. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. Agric. Water Manage. 96: 1146–1154
4. Bautista, E., M. English and D. Zerihun. 2001. Estimation of soil and crop hydraulic properties for surface irrigation: Theory and practice. ASAE Paper 01-2254. ASAE Int. Meeting. Sacramento, CA July 30-Aug 1.
5. Fangmeier, D.D. and M.K. Ramsey. 1978. Intake characteristics of irrigation furrows. Trans. ASAE 21: 696–705.
6. FAO. 1988. Irrigation Water Management: Irrigation methods. FAO Land and Water Development Division.
7. Gillies, M. H. 2008. Managing the effect of infiltration variability on the performance of the surface irrigation. University of Southern Queensland, 373p
8. Oyonarte, N.A., L. Mateos, and M. J. Palomo. 2002. Infiltration variability in furrow irrigation. J. Irrig. Drain. Eng. 128(1): 26-33.
9. Rodriguez, A. 2003. Estimation of advance and infiltration equations in furrow irrigation for untested discharges. Vol. 60, issue 3, pages 227-239.
10. Simunek, J., M. Sejna, and M.T. van Genuchten. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. IGWMC-TPS 53, Version 2.0. International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, CO.
11. Strelkoff, T.S., A.J. Clemmens, and E. Bautista. 2009a. Field properties in surface irrigation management and design. J. Irrig. Drain. Eng. 135: 525-536.
12. Strelkoff, T.S., A.J. Clemmens, and E. Bautista. 2009b. Estimation of soil and crop hydraulic properties. J. Irrig. Drain. Eng. 135: 537-555.
13. US Department of Agriculture Natural Resources and Conservation Service. 2005. National Engineering Handbook, Part 623, Surface Irrigation. National Technical Information Service, Washington, DC, Chapter 4.
14. USDA-NRCS (US Department of Agriculture, Natural Resources and Conservation Service). 1997. National Engineering Handbook. Part 652. Irrigation Guide. National Technical Information Service, Washington, DC.
15. USDA-SCS (US Department of Agriculture, Soil Conservation Service). 1974. National Engineering Handbook. Section 15. Border Irrigation. National Technical Information Service, Washington, DC, Chapter 4.
16. USDA-SCS (US Department of Agriculture, Soil Conservation Service). 1984. National Engineering Handbook. Section 15. Furrow Irrigation. National Technical Information Service, Washington, DC, Chapter 5.
17. Valiantzas, J. D., S. Aggelides, and A. Salsalou. 2001. Furrow infiltration estimation from time to a single advance point. Agric. Water Manage. 52:17–32.
18. Walker, W.R and B. Kasilingam. 2004. Correcting the volume balance equation for shape factors during advance. In: Proc. 2004 World Water & Env. Res. Cong. Critical Transitions in Water and Environmental Resources Management. PP. 1690-1695.
19. Walker, W.R. 2008. The effects of geometry and wetted perimeter on surface irrigation infiltration. In: Proc. World Environmental and Water Resources Congress 2008: Ahupua'a. ASCE-EWRI. May 12–16
20. Walker, W.R., C. Prestwich, and T. Spofford. 2006. Development of the revised USDA-NRCS intake families for surface irrigation. Agric. Water Manage. 85: 157-164.