دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بهینه‌سازی ضرایب مدل‌های نفوذ آب به خاک در زمین‌های مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز

مریم بیات ورکشی[۱]، حمید زارع ابیانه[۲]، علی قدمی فیروز آبادی[۳] و ولی ا... کریمی[۴]

۱- استادیار،گروه علوم و مهندسی خاکشناسی، دانشگاه ملایر، ملایر، (نویسنده مسوول: m.bayat.v@malayeru.ac.ir)
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
۳- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۴- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری
تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۶

چکیده

کمی نمودن و ارزیابی مدل‌های نفوذ آب به خاک در سامانه‌های حفاظت خاک، سامانه‌های آبیاری، پژوهش‌های هیدرولوژی، سامانه‌های مدیریت حوضه‌های آبخیز و آبخیزداری کاربرد دارد. هدف این پژوهش بررسی کارایی مدل‌های مختلف آماری و تجربی در برآورد نفوذ آب به‌خاک در دو خاک شخم خورده و شخم نخورده در اراضی شالیزاری مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز استان مازندران است. مقدار نفوذ با استفاده از استوانه‌های دوگانه اندازه‌گیری و با مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، کوستیاکوف- لوییز، فیلیپ، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) مقایسه گردید. نتایج نشان داد سرعت نهایی نفوذ در خاک شخم نخورده ۰/۱۲ و در خاک شخم خورده ۰/۲۱ سانتی‌متر بر دقیقه بود. مقایسه مقدار نفوذ برآوردی از هر یک از مدل‌ها با مقادیر واقعی نشان داد که میانگین شاخص خطاسنجی مجذور میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) در خاک شخم خورده و شخم نخورده به‌ترتیب ۲۱/۵۳ و ٦/٤٥ درصد به‌دست آمد. انجام فرآیند بهینه‌سازی ضرایب مدل‌های نفوذ در محیط Solver Excel، سبب بهبود کار و کاهش مقادیر شاخص فوق به‌ترتیب به ۲/٤۸ و ۱/۹ درصد شد. هم‌چنین برازش مدل‌های مختلف نفوذ پس از انجام فرآیند بهینه‌سازی ضرایب نشان داد در هر دو خاک شخم نخورده و شخم خورده مدل SCS برآوردهای بهتری در مقایسه با سایر مدل‌ها داشتند. به‌طوری‌که شکل کلی مدل SCS برای خاک شخم نخورده $I=0.8459t^{1.0417}+0.6985$ و برای خاک شخم خورده $I=0.891t^{1.026}+0.6985$ به‌دست آمد. در مجموع می‌توان اظهار داشت برازش مدل‌های فیزیکی و تجربی این مطالعه بر خاک‌های مناطق شالیزاری مازندران دارای دقت خوبی بود. از دیگر نتایج این پژوهش مناسب‌تر بودن نتایج در خاک شخم نخورده براساس شاخص NRMSE بود. لذا می‌توان چنین روشی را در اراضی شالیزاری، استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، کوستیاکوف- لوییز، مازنداران، مدل SCS، نفوذپذیری

مقدمه

سرعت نفوذ در سامانه‌های حفاظت خاک، آبیاری، مدیریت حوضه‌های آبخیز و آبخیزداری کاربرد فراوان دارد. نفوذ آب به‌خاک به‌شرایط و ویژگی‌های لایه سطحی خاک بستگی دارد (۳۸،۳۴). شخم لایه سطحی، نقش اساسی در تغییرات ویژگی‌های آبی و فیزیکی خاک و به‌تبع شدت نفوذ آب به‌خاک و رطوبت خاک دارد (۲۴،۳). نتایج متفاوتی از تاثیر شخم در نفوذ آب به خاک گزارش شده است. در این راستا، لیخت و الکایسی (۲۱) نتیجه گرفتند افزایش شدت عملیات شخم، سبب کاهش معنی‌دار شدت نفوذ می‌گردد. بنجامین (۵) کاهش هدایت هیدرولیکی خاک در اثر شخم مداوم نسبت به خاک بدون شخم شخم یا حداقل شخم را گزارش نمودند. پیتکانن و نونتین (۲۹) تخریب خاک‌دانه‌ها در اثر شخم را سبب کاهش سرعت نفوذ دانسته‌اند. شخم با شکستن منافذ درشت و مسدود نمودن منافذ ریز به‌واسطه تغییر آرایش ذرات خاک در کاهش نفوذ آب به خاک اثر دارد. در حالی‌که حیدری (۱۹) و رسولی شربیانی و عباسپور گیلانده (۳۰) نشان دادند شخم، سبب افزایش خلل و فرج، توزیع بهتر خاک‌دانه‌ها و نهایتاً اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک از جمله سرعت نفوذ آب و شاخص نفوذپذیری می‌شود. به اعتقاد دیکسون (۱۰) یکی از راه‌های افزایش نفوذپذیری خاک، تغییر در میزان خلل و فرج و افزایش سطح تماس خاک با هوا است. میلر و همکاران (۲۵) بیشتر بودن هدایت هیدرولیکی تحت شرایط شخم مداوم نسبت به شخم صفر یا حداقل شخم را گزارش نمودند. لیکن هدایت هیدرولیکی به دلیل برگشت ساختمان خاک جدید ایجاد شده در اثر شخم، دوباره کاهش می‌یابد (۷). درحالی که واحدی و بیژنی نژاد (۳۷) غرقابی شدن متناوب خاک در دو کاربری جنگلی و شالیزاری را سبب فروپاشی ساختار فیزیکی و مکانیکی مخازن کربن آلی دانسته‌اند که نتیجه آن هدررفت ظرفیت جاری مخازن کربن و یا کاهش روند تجزیه مواد آلی می‌باشد. کاهش مواد آلی خاک در کاهش ویژگی‌های نفوذ آب به خاک و افزایش میزان رواناب و فرسایش خاک تاثیر می‌گذارد (۱۳،۴). محمودآبادی و مظاهری (۲۲) بهبود پایداری خاک‌دانه و ساختمان خاک ناشی از شخم را موجب افزایش نفوذ آب به‌خاک گزارش نمودند. در زمین‌های شخم‌خورده ضمن نفوذ بیشتر آب به‌خاک، شرایط مناسب‌تری برای استفاده گیاه از رطوبت خاک مهیا می‌شود. به این ترتیب شاید بتوان گفت که مکانیسم افزایش و کاهش سرعت نفوذ به‌طور کامل روشن نیست و نیازمند تحقیقات بیشتر است.

نفوذ آب به خاک به‌روش‌های گوناگون اندازه‌گیری و مدل سازی می‌گردد که به‌علت متفاوت بودن فرضیات و پارامترهای مدل‌های نفوذ، راه‌کاری زمان‌بر و نتایج به‌دلیل تفسیر و تحلیل‌های فردی، از دقت‌های متفاوتی برخوردارند. مدل‌سازی نفوذ، روشی برای کمی نمودن فرآیند نفوذ آب به خاک به‌کمک معادلات ریاضی است که سابقه طولانی دارد.

کارایی بالای روش‌های فیلیپ، هورتون و کوستیاکوف–لوییز به‌ترتیب در اراضی گندم‌زار، مرتع و آیش آمده است (۱۵). دقت بالای مدل کوستیاکوف–لوییز در برآورد نفوذ آب به خاک مناطقی از کشور توسط پرچمی عراقی و همکاران (۲۸) گزارش شد. ارزیابی چهار مدل کوستیاکوف، کوستیاکوف–لوییز، فیلیپ و سازمان حفاظت خاک آمریکا[1] (SCS) در برآورد میزان نفوذ تجمعی در اراضی دشت اشترینان (لرستان) نشان داد که مدل کوستیاکوف با ۸ درصد خطا بهترین برآورد را داشت (۱۸). در مطالعه فاخر نیکچه و همکاران (۱۴) پنج مدل کوستیاکوف،گرین آمپت، هورتون، سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا[2] (NRCS) و فیلیپ در چهار نوع کاربری: اراضی باغی، کشاورزی، مرتع و آیش با سه کلاس بافت شنی رسی لومی، لومی، شنی لومی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل‌های کوستیاکوف و NRCS بهترین عملکرد را در برآورد دقیق‌تر مقادیر نفوذ تجمعی در کل حوضه آبخیز داشت و دارای روند پایدارتری در برآورد نفوذ تجمعی در کاربری‌های مختلف بود. به گزارش سلیمانی و همکاران (۳۵) مدل SCS برای کاربری مرتع و مدل مدل فیلیپ برای کاربری جنگل و زراعت در برآورد نفوذ حوزه آبخیز کاکاشرف، استان لرستان حایز رتبه نخست بودند. واحدی و همکاران (۳۷) برتری روش گرین‌امپت را در برآورد سرعت نهایی نفوذ آب در بخشی از خاک‌های حاشیه رودخانه قزل اوزن در استان زنجان گزارش نمودند. در مطالعه گیری و همکاران (۱۷) روش‌های کوستیاکوف و فیلیپس نسبت به روش هورتون، در برآورد سرعت نفوذ آبّ به خاک اراضی نیجریه، مناسب تشخیص داده شدند. چن و همکاران (۹) با مناسب دانستن مدل گرین‌امپت، به بهینه‌سازی ضرایب مدل گرین‌امپت پرداختند.

تعیین مقدار نفوذ در خاک‌های شالیزاری با توجه به این‌که اراضی ۴۳–۳۴ درصد از کل آب آبیاری دنیا یا ۳۰–۲۴ درصد از کل آب شیرین دنیا را دریافت می‌کنند، می‌تواند نقش زیادی در جلوگیری از هدررفت آب و مدیریت صحیح شبکه آبیاری ایفا نماید (۸). این در حالی است که تعیین نفوذ در اراضی شالیزاری به‌دلیل وجود لایه غیرقابل نفوذ در ناحیه فعالیت ریشه گیاه برنج، مستلزم روش‌های اختصاصی با هزینه بالا است.از طرفی، برای اجتناب از تفسیرهای فردی و رعایت دقت، تکنیک‌هایی مانند بهینه‌سازی برای تخمین ضرایب مدل‌های نفوذ وجود دارند که با توجه به عدم امکان ترجمه کامل همه قوانین، شناخت و تحلیل عوامل تاثیرگذار، راه‌کاری مناسب است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف تعیین اثر شخم بر نفوذ آب به خاک در یک خاک شالیزاری و بهینه‌سازی ضرایب مدل‌های نفوذ، انجام شد. بدین منظور با استفاده از مدل‌های مختلف، اقدام به تعیین مناسب‌ترین مدل برآورد شدت نفوذ آب به خاک و نفوذ تجمعی آن گردید. در این مقاله تلاش شد تا ضمن کسب اطلاع از وضعیت نفوذ در خاک‌های شالیزاری با تکنیک بهینه‌سازی بتوان با دقت بالا به مقدار نفوذ منطقه مورد مطالعه دست یافت. ضمن آن‌که می‌توان راه‌کار فوق را در خاک‌های تحت پوشش کاربری‌های جنگلی، مرتعی و حاشیه‌های مرزی کاربری‌های فوق یا کاربری‌های زراعی نیز به‌کار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در زمین‌های شالیزاری مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز در استان مازندران در مختصات '۵۲°۱۷ طول شرقی و '۳۶°۵۸ عرض شمالی انجام شد. این مرکز دارای اقلیم مرطوب و معتدل، میانگین درازمدت بیشینه و کمینه دما به‌ترتیب ۳۲/۷ و ۷/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۸۸۲/۶ میلی‌متر و ارتفاع متوسط ۵/۵ متر از سطح دریا است (۳۶). در این مطالعه سرعت نفوذ آب به‌خاک و نفوذ تجمعی آن در یک کرت با یک بلوک شخم خورده و یک کرت با دو بلوک شخم نخورده انجام شد.بافت خاک رس سیلتی با ترکیب ۱۱/۷۱ درصد شن، ۴۶/۴۲ درصد سیلت و ۴۱/۸۷ درصد رس بود.آزمایش‌های نفوذپذیری، جهت تعیین رابطه نفوذ به‌روش استوانه‌های دوگانه در سه تکرار انجام شد. بدین منظور از دو استوانه فلزی به ارتفاع حدود ۵۰ سانتی‌متر و قطر ۳۰ سانتی‌متری در سه تکرار بهره گرفته شد. با شروع آزمایش‌ها حجم آب مصرفی جهت ایجاد عمق ثابت و در نتیجه عمق آب نفوذی در فواصل زمانی مشخص دراستوانه‌ها اندازه‌گیری شد. از آنجایی‌که مقدار نفوذ از تغییرات عمق آب در استوانه‌ها تأثیرمی‌پذیرد، سعی شد تا عمق آب در زمان آزمایش در ۵ تا ۷ سانتی‌متری لبه ثابت باشد (۶ و ۲۲). ثابت نگه داشتن سطح آب در حین آزمایش به‌صورت دستی و اضافه نمودن متناوب آب بود. تغییرات سطح آب از طریق شناور مستقر بر استوانه در گام‌های مختلف زمانی قرائت و در جدول ثبت داده‌ها یادداشت گردید. اندازه‌گیری‌هادر ابتدای آزمایش در بازه زمانی کوتاه (یک دقیقه) و به‌تدریج با گذشت زمان، در بازه زمانی طولانی (بیش از ۱۰ دقیقه) انجام گرفت. هم‌چنین برای اطمینان از رسیدن به‌شرایط پایدار نفوذ، مدت آزمایش خاک شخم‌خورده ۴ ساعت و خاک شخم‌نخورده حدود ۳ساعت تنظیم گردید که بیش از مدت زمان پیشنهادی توسط محققین می‌باشد (۲۲). از نتایج نفوذپذیری یک بلوک شخم‌خورده و یک بلوک شخم نخورده برای مدل‌سازی نفوذ و از نتایج نفوذپذیری بلوک دوم شخم نخورده به‌عنوان کرت کنترل (شاهد)، برای صحت‌سنجی مدل‌های برآورد نفوذ آب به‌خاک استفاده شد. براساس داده‌های ثبت شده، میزان نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ برای هر خاک تعیین گردید. مقدار نفوذ آب به‌خاک با برازش پنج مدل کوستیاکوف، کوستیاکوف–لوییز، فیلیپ، هورتون و SCS مطابق جدول ۱، بر جفت داده‌های نفوذ–زمان به‌دست آمد (۱۶).

1- Soil Conservation Service

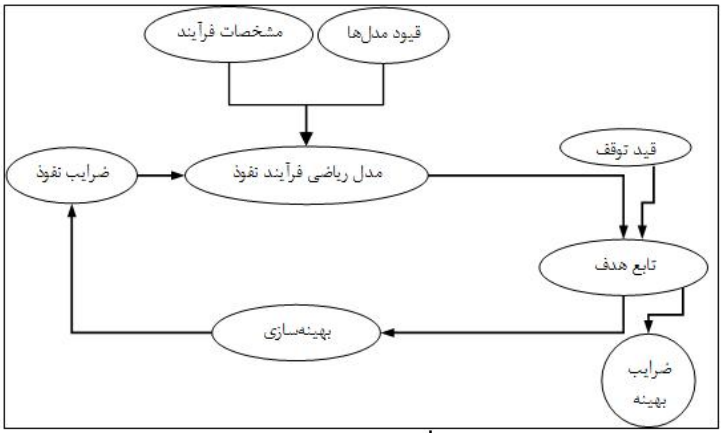
2- Natural Resources Conservation Service

جدول ۱- مشخصات مدل‌های برآورد نفوذ آب به خاک

Table 1. Specifications of infiltration estimation models

نام مدل	پارامترها	معادله
کوستیاکوف	I نفوذ تجمعی، t زمان، a و b ضرایب تجربی	$I=at^b$
کوستیاکوف–لوییز	I نفوذ تجمعی، t زمان، a، b و c ضرایب تجربی	$I=at^b+c$
فیلیپ	I نفوذ تجمعی،t زمان، S ضریب جذبی خاک و Ks ضریبی که بیان‌گر هدایت آبی اشباع خاک	$I=St^{0.5}+K_st$
هورتون	I نفوذ تجمعی،t زمان،f_f سرعت نهایی نفوذ، f_i سرعت اولیه نفوذ، k ضریب تجربی	$I=f_ft+(1-e^{-kt})(f_i-f_f/k)$
SCS	I نفوذ تجمعی، t زمان، ضرایب a و b تابعی از شماره منحنی‌های نفوذی	$I=at^b+0.6985$

تعیین ضرایب هر یک از مدل‌های جدول ۱، با فرمول سازی در فضای حل مساله‌ای Visual Basic و اعمال محدوده‌ها، قیود و ویژگی‌های خاک به‌روش تحلیل رگرسیونی در محیط Solver نرم‌افزار Excel انجام شد. Micro Soft Excel همراه باVisual Basic یک نرم‌افزار چند منظوره با ابزار مربوط به کارهای ریاضی و آماری است. بهینه‌سازی فرآیند نفوذ مطابق شکل ۱، در سه بخش مدل ریاضی فرآیند نفوذ، تابع هدف و روش بهینه‌سازی انجام شد.



شکل ۱- ساختار روش بهینه‌سازی مورد استفاده

Figure 1. Structure of used optimization method

در بخش مدل ریاضی، سلول هدف هر یک از پنج مدل به همراه قیدهای محدود کننده در یک صفحه کاری تعریف شد. نتایج اجرای اول برنامه به‌عنوان مقادیر ضرایب اولیه غیر بهینه‌سازی لحاظ شد که Solver Excel از آن‌ها در ادامه فرآیند بهینه‌سازی بهره گرفت. فرآیند بهینه‌سازی، در واقع سلول‌های تغییر یافتنی هستند که با تغییر ضرایب معادلات جدول ۱، سلول هدف بهینه می‌گردد. در نهایت نتایج به صورت جداول برای کاربر آماده‌سازی می‌شود. با بروز هر گونه تغییر در متغیرهای ورودی، حل مساله براساس تابع هدف (سلول هدف) و ارضاء، شرط توقف الگوریتم است. شرط توقف برای خاتمه فرآیند بهینه‌سازی ضرایب در Solver Excel حداقل‌سازی اختلاف نفوذ تجمعی اندازه‌گیری با تخمینی به روش حداقل مربعات خطا مطابق رابطه ۱، بود.

$$f=\min [SUM (I_a-I_p)^2] \quad (۱)$$

که f نشان‌دهنده اختلاف بین مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده نفوذ (I_a) و تخمینی نفوذ (I_p) است. I_a میانگین سه تکرار اندازه‌گیری شده در هر کرت آزمایش است. در صورت عدم ارضاء شرط توقف (رابطه ۱)، الگوریتم با ایجاد یک حلقه تکرار مناسب نسبت به بهینه‌سازی خودکار بر روی همان صفحه کاری عمل می‌نماید. تکرار عملیات تا زمان عدم بهبود و تغییر در ضرایب پیشنهادی ادامه می‌یابد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها و پیش پردازش آن‌ها با اجرای برنامه به تفکیک کرت شخم خورده و کرت شخم نخورده، هر یک از مدل‌های جدول ۱ به داده‌ها برازش یافت. عملکرد مدل‌های نفوذ با ضرایب اولیه غیر بهینه‌سازی شده و ضرایب بهینه‌سازی شده در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری به‌کمک آماره مجذور میانگین مربعات خطای نرمال[1] (NRMSE) (رابطه ۱)، آماره ضریب تبیین[2] (R^2) (رابطه ۲)و ضریب نش–ساتکلیف[3] (NS) (رابطه ۳) انجام شد (۳۴).

1- Normal Root Mean Square Error 2- Coefficient of determination 3- Nash and Sutcliffe

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}}{\overline{X}} \quad (۲)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2 (Y_i - \overline{Y})^2} \quad (۳)$$

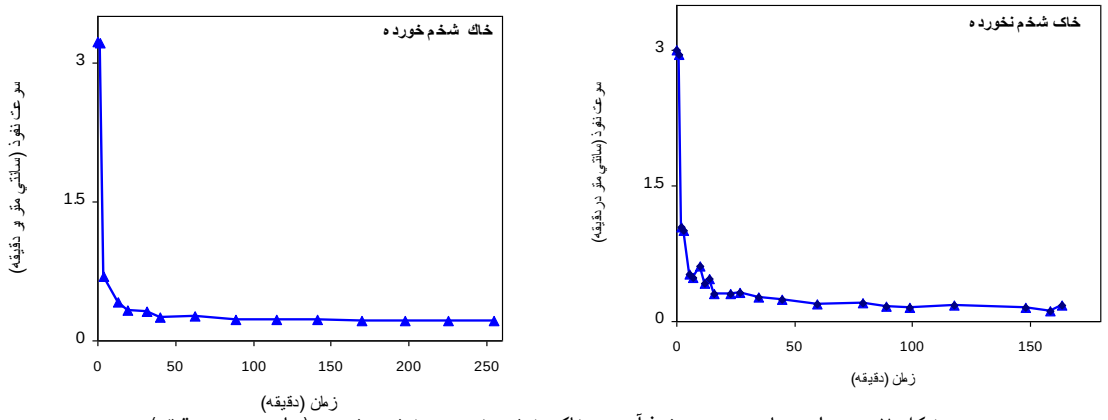
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2} \quad (۴)$$

در این روابط، X_i و Y_i به ترتیب i امین داده نفوذ اندازه‌گیری و برآوردی، $\overline{X}$ و $\overline{Y}$ به‌ترتیب متوسط داده‌های X_i و Y_i و n تعداد نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. آماره R^2، تعیین‌کننده تناسب برازش مدل رگرسیون خطی به جفت داده‌های تخمینی و مشاهداتی است. مقدار ضریب R^2، همواره بین صفر و یک بوده و نزدیک بودن آن به یک نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است. آماره NRMSE بیان‌گر اختلاف مقادیر نفوذ برآوردی و اندازه‌گیری می‌باشد و مقدار آن در شرایط برابری مقادیر برآوردی با اندازه‌گیری، صفر است. مقدارضریب NS نیز نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها است که از منفی بی‌نهایت در بدترین حالت، تا یک، در زمان برازش کامل داده‌ها تغییر می‌کند (۳۵).

در نهایت برای صحت‌سنجی نتایج، از اطلاعات بلوک دوم کرت شخم نخورده (کرت کنترل) استفاده شد. به‌طوری که بهترین مدل پیشنهادی برآورد نفوذ، بر اطلاعات کرت کنترل برازش یافت و با مقادیر واقعی مقایسه گردید. نتایج این بخش از کار به‌صورت نمودار ترسیم و تحلیل‌ها بر آن اساس انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات سرعت نفوذ آب به خاک برای خاک رس سیلتی شخم خورده و شخم نخورده حاصل از اندازه‌گیری‌های رینگ های دوگانه در شکل ۲ آمده است. شکل ۲ براساس سرعت نفوذ داده‌های اندازه‌گیری در محور عمودی (سانتی‌متر در دقیقه) در مقابل زمان اندازه‌گیری در محور افقی (دقیقه) تنظیم شده است.



شکل ۲- تغییرات زمانی سرعت نفوذ آب در خاک شخم خورده و شخم نخورده (سانتی‌متر در دقیقه)
Figure 2. Infiltration rate time changes in soils of plowed and without plowed (cm/min)

مطابق شکل ۲، سرعت نفوذ در خاک شخم نخورده از ۲/۹۵ سانتی‌متر در دقیقه شروع و در انتهای زمان آزمایش در مقدار ۰/۱۲ سانتی‌متر در دقیقه تثبیت شد. در حالی‌که در خاک شخم خورده مقدار نفوذ از ۳/۲۱ سانتی‌متر بر دقیقه شروع و تا ۰/۲۱ سانتی‌متر بر دقیقه ادامه یافت. این نتایج بیان‌گر نقش شخم در بهبود تراکم خاک و تاثیر افزایشی آن بر نفوذ آب به‌خاک است. در مطالعه حیدری (۱۹) افزایش مقدار سرعت نهایی نفوذ از ۰/۱۵ در یک خاک شخم نخورده به ۰/۱۷ در همان خاک شخم خورده گزارش شد. نتایج تحقیقات دیگر نیز حاکی از افزایش سرعت نفوذ آب به‌خاک در اثرشخم است (۲). میزان و شدت نفوذ آب در خاک و حرکت آن در درون خاک به دو عامل درونی یعنی خود خاک و بیرونی یعنی به‌هم ریختگی ساختمان سطحی خاک و ناهمواری‌های ناشی از آن بستگی دارد (۱۰). از آنجا که مشخصات خاک محل آزمایش از شرایط اقلیمی، بافت خاک و اندازه ذرات برای هر دو وضعیت شخم خورده و شخم نخورده یکسان بود، به‌نظر می‌رسد تاثیر عامل درونی در هر دو آزمایش یکسان است و نفوذپذیری می‌تواند بیشتر متاثر از عامل بیرونی یعنی شخم خاک باشد. دیکسون (۱۰) اظهار داشت میزان نفوذ آب در خاک در وضعیت سطحی ناهموار با منافذ سطحی باز بیش از سطوح هموار خاک‌های با منافذ نیمه بسته تا بسته است. بنابراین بالا بودن سرعت نفوذ در خاک شخم خورده با منافذ باز و ناهمواری بیشتر در مقایسه با خاک شخم نخورده تایید می‌گردد. ضمن آن‌که کمتر بودن مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک شخم خورده (۱/۲۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) نسبت به خاک شخم نخورده (۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) گویای افزایش حجم منافذ خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری در اثر عملیات شخم است.

در جدول ۲، ضرایب مدل‌های نفوذ، ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال (NRMSE) و ضریب نش- ساتکلیف (NS) برای پنج مدل نفوذ آمده است. محاسبات جدول ۲ براساس اجرای مدل‌ها برای خاک شخم خورده و شخم نخورده است. اعداد داخل کمانک‌ها بیان‌گر رتبه یا برتری مدل‌ها براساس مقادیر سه آماره NRMSE،R^2 و NS می‌باشند.

جدول ۲- نتایج حاصل از عملکرد مدل‌های نفوذ در خاک‌های شخم خورده و شخم نخورده

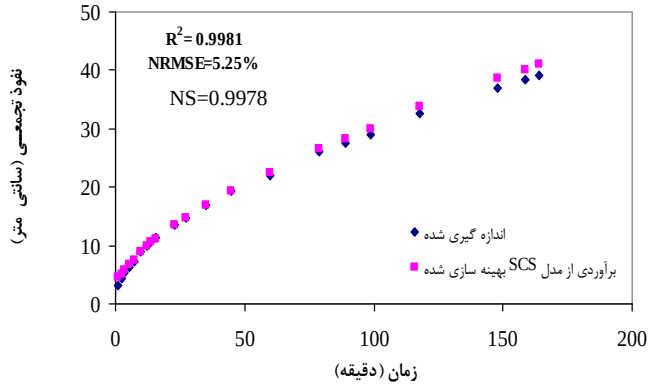
Table 2. Results of infiltration models yield in soils of plowed and without plowed

نوع خاک	مدل	مقدار اولیه ضرایب (غیر بهینه‌سازی)	NRMSE	R^2	NS	ضرایب پس از بهینه‌سازی	NRMSE	R^2	NS
کرت بلوک شخم نخورده	کوستیاکوف	$y = 2.8349t^{0.5076}$	۳/۱۵ (۲)	۰/۹۹۸۶ (۱)	۰/۹۹۷۸ (۲)	$I=2.591t^{0.5302}$	۱/۸۳ (۴)	۰/۹۹۹۳ (۴)	۰/۹۹۹۲ (۴)
	کوستیاکوف-لوییز	$I=1.668t^{0.0589}+0.18t$	۴/۰۹ (۴)	۰/۹۷۱۱ (۵)	۰/۹۶۲۳ (۵)	$I=2.058t^{0.5705}+1.1946$	۱/۱۴ (۲)	۰/۹۹۹۷ (۲)	۰/۹۹۹۷ (۲)
	فیلیپ	$I=2.767t^{0.5}+0.0198t$	۱/۴۸ (۱)	۰/۹۹۱۴ (۳)	۰/۹۹۹۵ (۱)	$I=2.7.83t^{0.5}+0.0259t$	۱/۲۷ (۳)	۰/۹۹۹۶ (۳)	۰/۹۹۹۶ (۳)
	SCS	$I=0.1196t^{0.7475}+0.6985$	۳/۳۴ (۳)	۰/۹۹۳۲ (۲)	۰/۹۹۱۷ (۳)	$I=0.8459t^{1.0417}+0.6985$	۰/۷۹ (۱)	۰/۹۹۹۹ (۱)	۰/۹۹۹۸ (۱)
	هورتون	$I = 0.123 + 146.76(1- e^{-0.0064t})$	۲۰/۱۷ (۵)	۰/۹۸۱۵ (۴)	۰/۹۷۸۵ (۴)	$I=0.181+11.243(1-e^{-0.1233t})$	۴/۳۵ (۵)	۰/۹۹۶ (۵)	۰/۹۹۵۵ (۵)
	میانگین	--	۶/۴۵	۰/۹۸۷۲	۰/۹۸۶۰	--	۱/۸۸	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۸
کرت بلوک شخم‌خورده	کوستیاکوف	$y = 2.8976t^{0.5353}$	۱۳/۸۳ (۴)	۰/۹۷۶۵ (۵)	۰/۹۶۱۸ (۵)	$I=1.448t^{0.6849}$	۴/۸۱ (۵)	۰/۹۹۶۵ (۵)	۰/۹۹۵۴ (۵)
	کوستیاکوف-لوییز	$I=4.8289t^{0.1882}+0.2083t$	۱/۶۸ (۱)	۰/۹۹۹۵ (۱)	۰/۹۹۹۴ (۱)	$I=0.6747t^{0.8144}+4.2068t$	۱/۱۳ (۲)	۰/۹۹۹۷ (۲)	۰/۹۹۹۷ (۲)
	فیلیپ	$I=2.4218t^{0.5}+0.0936t$	۵/۱۴ (۲)	۰/۹۹۶۳ (۳)	۰/۹۹۴۷ (۴)	$I=2.072t^{0.5}+0.1264t$	۲/۹۲ (۳)	۰/۹۹۸۷ (۳)	۰/۹۹۸۳ (۳)
	SCS	$I=0.0925t^{0.7204}+0.6985$	۱۱/۶۳ (۳)	۰/۹۹۸۱ (۲)	۰/۹۹۸۷ (۲)	$I=0.891t^{1.026}+0.6985$	۰/۵۶ (۱)	۰/۹۹۹۹ (۱)	۰/۹۹۹۹ (۱)
	هورتون	$I = 0.2317 + 8.755(1- e^{-0.0067t})$	۷۵/۳۵ (۵)	۰/۹۸۷۵ (۴)	۰/۹۹۸۲ (۳)	$I=0.3987+8.755(1-e^{-0.1899t})$	۳/۸۷ (۴)	/۹۹۸۶ (۴)	۰/۹۹۶۴ (۴)
	میانگین	--	۲۱/۵۳	۰/۹۹۱۶	۰/۹۹۰۶	--	۲/۶۶	۰/۹۹۸۷	۰/۹۹۸۰

همان‌گونه که از جدول ۲، استنباط می‌شود با برازش مدل های مختلف نفوذ، نتایج متفاوتی بدست آمده است. مقایسه نتایج مدل‌های مختلف بر یک نوع خاک در هر دو شرایط شخم خورده و شخم نخورده نشان‌دهنده تفاوت‌هایی است که یکی از دلایل این امر طبیعت تغییرپذیر فرآیند نفوذ آب به خاک است. به اعتقاد سی (۳۴) طبیعت تغییرپذیر فرآیند نفوذ آب به خاک می‌تواند منجر به تفاوت رفتار نفوذ در دو خاک با شرایط فیزیکی مشابه گردد. بنابراین انتظار می‌رود تغییر پذیری الگوی نفوذ آب به‌خاک در خاک‌های مشابه، متفاوت باشد که موید نتایج مطالعه حاضر می‌باشد (۳۴). به‌گونه‌ای که تغییرپذیری فرآیند نفوذ باعث می‌گردد تا یک مدل نفوذ در دو خاک که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی مشابه‌اند دارای عملکردی متفاوت باشند. مطابق نتایج جدول ۲، کمترین مقدار خطای مدل‌های بهینه شده در کرت شخم نخورده با NRMSE= ۰/۷۹، R^2=۰/۹۹۹ و NS=۰/۹۹۹۸ به مدل SCS و بیشترین مقدار NRMSE=۴/۳۸ با R^2=۰/۹۹۶ و NS=۰/۹۹۵۵ به مدل هورتون تعلق گرفت. نتایج هم‌چنین نشان داد مدل‌های کوستیاکوف-لوییز، فیلیپ و کوستیاکوف به‌ترتیب با کسب NRMSE، ۱/۱۴، ۱/۲۷ و ۱/۸۳ در رتبه‌های دوم، سوم و چهارم جای گرفتند که این ترتیب با ترتیب رتبه‌های آماره R^2 و ضریب NS یکسان است. در حالی‌که براساس آماره NRMSE در حالت عدم بهینه‌سازی ضرایب در کرت شخم نخورده بیشترین دقت را مدل فیلیپ با مقدار ۱/۴۸ احراز نمود و مدل‌های کوستیاکوف، SCS، کوستیاکوف-لوییز و هورتون در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. ولی از نظر مقدار R^2 و NS، مدل فیلیپ در رتبه سوم قرار گرفت. ضمن آن‌که مطابق نتایج جدول ۲، ترتیب رتبه‌بندی مدل‌ها با آماره NRMSE و آماره‌های R^2 و NS، در حالت عدم بهینه‌سازی ضرایب در کرت شخم نخورده یکسان نیست. به‌عبارت دیگر در کرت شخم نخورده در حالت عدم بهینه‌سازی ضرایب، رتبه‌بندی به‌دست آمده براساس مقادیر R^2 و NS که بیان‌گر تناسب برازشی مدل‌ها است متفاوت از رتبه‌بندی NRMSE براساس دقت مدل‌ها بود (جدول ۲). لیکن با انجام عملیات بهینه‌سازی ضرایب برای کرت شخم خورده، ضمن کاهش چشم‌گیر آماره NRMSE و ارتقا آماره R^2 و NS، رتبه مدل‌ها در هر دو آماره یکسان شد. به‌عبارت دیگر دقت مدل‌ها براساس سه آماره

NRMSE، R^2و NS، برای کرت شخم نخورده به‌طور مشترک به مدل‌های SCS، به رتبه ۱، کوستیاکوف – لوییز، به رتبه ۲، فیلیپ، به رتبه ۳، کوستیاکوف، به رتبه ۴ و هورتون به رتبه ۵، تغییر یافت.به‌طور مشابه در کرت شخم خورده ترتیب دقت مدل‌ها براساس کمترین مقدار آماره خطاسنجی NRMSE در حالت عدم بهینه‌سازی مربوط به‌مدل‌های کوستیاکوف – لوییز، فیلیپ، SCS، کوستیاکوف و هورتون بود. در این حالت مشاهده می‌گردد که ترتیب رتبه مدل‌ها براساس آماره NRMSE با رتبه‌های مربوط به آماره‌های R^2 و NS یکسان نیست. با انجام عملیات بهینه‌سازی ضرایب مدل‌های نفوذ برای خاک شخم خورده، ضمن کاهش خطای مدل سازی، ترتیب مدل‌ها به SCS، کوستیاکوف – لوییز، فیلیپ، هورتون و کوستیاکوف جابه‌جا شد که با ترتیب رتبه‌های اختصاص یافته به آماره R^2 نیز همسان است. مطابق نتایج جدول ۲، و با انجام فرایند بهینه‌سازی ضرایب، مدل SCSدر هر دو کرت شخم خورده و شخم نخورده براساس هر دو آماره در رتبه اول جای دارد. مطابق نتایج راولزوبرکنسیک (۳۱) شاید بتوان گفت که دقت مدل‌های نفوذ وابسته به بافت خاک است که در خاک‌های سنگین (مشابه خاک مورد آزمایش در این تحقیق) دقت مدنظر احتمالا به‌دلیل افزایش ذرات ثانویه کمتر است. نشاط و پاره‌کار (۲۷) بیان داشتند دقت مدل‌ها می تواند به طول زمان آزمایش بستگی داشته باشد زیرا که دقت برخی مدل‌ها در آزمایشات کوتاه مدت متفاوت از دقت در آزمایشات طولانی مدت است. آنان ضمن مناسب دانستن دقت مدل SCS در آزمایشات طولانی مدت نسبت به‌دیگر مدل‌ها پیشنهاد نمودند که برای افزایش دقت پارامتر نفوذ پایه اصلاح گردد. ملکی و همکاران (۲۳) کارایی مدل SCS را برای زمین‌های نیشکر جنوب اهواز که دارای بافت سنگین رسی تا لوم رسی هستند در مقایسه با دیگر مدل‌های نفوذ بیشتر ارزیابی نمودند. شعبانی بازنشین و همکاران (۳۳) نیز با تکیه بر توانایی دقت روش SCS، اقدام به تخمین مقدار نفوذ آب به خاک حوزه آبخیز نکا پرداختند.بنابراین ضمن توجه به نتایج پژوهش‌های یاد شده، می‌توان تکنیک بهینه‌سازی را در افزایش دقت برآوردها مناسب و کارا دانست. ابارشی و همکاران (۱) در مطالعه خود اظهار داشتند با بهینه‌سازی ضرایب در مدل‌های ریاضی، اختلاف مقادیر مشاهداتی و برآوردی کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد فرایند بهینه‌سازی در غلبه بر برخی مسایل یاد شده و مسایلی مشابه در خاک دارای بافت سنگین در زمین‌های شالیزاری به جهت افزایش دقت برآوردها موفق بوده است.

همان‌گونه‌که در مواد و روش‌ها بیان شد، به‌منظور صحت سنجی نتایج، از اطلاعات نفوذ اندازه‌گیری شده در بلوک دوم کرت شخم نخورده به‌عنوان کرت کنترل یا شاهد استفاده گردید. بدین منظور با در نظر گرفتن ضرایب بهینه‌سازی شده مدل SCS به‌عنوان بهترین مدل پیشنهادی در برآورد نفوذ خاک شخم نخورده (جدول ۲)، مقدار نفوذ کرت کنترل، برآورد گردید. شکل ۳ مقایسه مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده در کرت کنترل با مقدار نفوذ برآوردی حاصل از برازش مدل پیشنهادی SCS با ضرایب بهینه‌سازی شده است. این شکل حاصل رسم مقادیر نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده و برآورد شده از مدل بهینه‌سازی شده SCS، بر حسب سانتی‌متر در مقابل زمان بر حسب دقیقه است. طول مدت زمان آزمایش در این مرحله ۱۷۰ دقیقه بود که زمان مناسبی برای تکرار این آزمایش محسوب می‌شود (۲۲).



شکل ۳- مقایسه نفوذ اندازه‌گیری شده با برآوردی از مدل SCS بهینه‌سازی شده در کرت کنترل
Figure 3. Comparison of observed and estimated infiltration of optimized SCS model in control plot

از شکل ۳ چنین استنباط می‌شود که انطباق خوبی بین مقادیر نفوذ برآوردی با مقادیر اندازه‌گیری شده برقرار است. زیرا میزان خطای بین نتایج اندازه‌گیری و نتایج برآوردی از آماره NRMSE، معادل ۰/۰۵۲۵ است که بیان‌گر دقت برآورد مدل SCSبا ضرایب بهینه شده است. روند مقادیر نفوذ تجمعی ترسیم شده در شکل ۳ نیز بیان‌گر هم‌سو بودن نتایج بهینه‌سازی شده با اندازه‌گیری شده است. این شکل حاکی از وجود همبستگی بالا بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده می‌باشد. در شکل ۳، مشاهده می‌شود، با افزایش نفوذ تجمعی، مقدار خطای مدل افزایش می‌یابد و مدل مقداری بیش برآورد دارد که مطابق نتایج کاوسی و همکاران (۲۰) و صادقی و همکاران (۳۲) می‌باشد. در مطالعه آنان نیز، با

شرایط بار آبی ثابت، در مرحله صحت‌سنجی، مقدار نفوذ برآوردی از مدل‌های نفوذ، بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده بود. لیکن در مجموع می‌توان اظهار داشت که بهینه‌سازی ضرایب در مدل نمودن ۹۹/۸ درصد از شرایط میدانی آزمایش با دقت مناسب موفق بود (شکل ۳). این درجه اطمینان گویای آن است که کاربرد مدل‌های پیشنهادی برآورد نفوذ قابل اطمینان بوده و برای زمین‌های مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز قابل تعمیم می‌باشد. در مجموع در مطالعه حاضر مقدار ضرایب تبیین (R^2) در همه مدل‌های برازشی در هر دو خاک برای شرایط بهینه‌سازی شده ۰/۹۹۶ و بالاتر به دست آمد. در حالی‌که ضرایب تبیین مدل‌های مختلف نفوذدر مطالعه نشاط و پاره‌کار (۲۷) بین ۰/۳۳۷ تا ۰/۹۹۵، در مطالعه پرچمی عراقی و همکاران (۲۸) با توابع انتقالی ۰/۸۸، در مطالعه ابراهیمی و نائب لویی (۱۲) با مدل شبکه عصبی مصنوعی ۰/۹۴ و در مطالعه کاوسی و همکاران (۲۰) در محدوده ۰/۶۸ تا ۰/۹۵ گزارش شده است. بنابراین می‌توان اظهار داشت برازش مدل‌های فیزیکی و تجربی این مطالعه بر خاک‌های مناطق شالیزاری مازندران دارای دقت خوبی بود که آماره‌های خطاسنجی گزارش شده در شکل ۳، نیز در راستای همین مطلب است. البته ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که با توجه به کسب نتایج مناسب در کرت کنترل (خاک شخم نخورده) مطابق نتایج ارائه شده در شکل ۳، می‌توان نتایج این پژوهش را در اراضی حوضه‌های آبخیز نیز تکرار نمود. به‌نظر می‌رسد عدم بهم ریختگی منافذ خاک به‌واسطه شخم و عملیات خاک‌ورزی مصنوعی نه‌تنها سبب از بین رفتن منافذ خاک و پیوستگی منافذ خاک نمی‌شود، بلکه سبب شکل‌گیری خاکدانه‌های درشت‌تر، پایدارتر و درنتیجه افزایش هدایت هیدرولیکی خاک و سرعت نفوذ آب می‌شود (۵،۲۳). ابراهیمی و همکاران (۱۳) و آزموده و همکاران (۴) علت کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش فرسایش در رواناب را نتیجه انجام شخم‌های متناوب و ازبین رفتن مواد آلی به واسطه در معرض هوا قرار گرفتن لایه‌های زیرین خاک گزارش نمودند. برمان و کلاسن (۷) افزایش هدایت هیدرولیکی و سرعت نفوذ در خاک‌های شخم خورده را به‌دلیل برگشت پذیری ساختمان ایجاد شده در اثر شخم، موقتی دانسته‌اند.

مدل‌های نفوذ براساس تعداد نمونه‌های محدود یا فرضیات خاص به‌وجود آمده‌اند. به‌همین دلیل نفوذ در هر منطقه از یک الگو یا یک مدل خاص پیروی می‌کند. لذا کمی نمودن و ارزیابی کردن مدل‌ها امری ضروریاست. در این مطالعه به بررسی اثر شخم بر مقدار نفوذ آب در خاک اراضی شالیزاری پرداخته شد. بررسی نتایج براساس شاخص خطاسنجی NRMSE نشان داد میانگین این شاخص در خاک شخم خورده و شخم نخورده به‌ترتیب ۲۱/۳ و ۶/۴۶ درصد می‌باشد. با بهینه‌سازی ضرایب مدل‌های نفوذ مقادیر خطا برای خاک‌های شخم خورده و شخم نخورده به‌ترتیب به ۲/۴۸ و ۱/۹ درصد کاهش یافت. این امر بیان‌گر افزایش دقت نفوذ برآوردی با بهینه‌سازی ضرایب مدل‌ها می‌باشد از طرفی مقایسه مدل‌های نفوذ نیز نشان داد دو روش SCS و کوستیاکوف- لوییز در برآورد نفوذ آب به خاک منطقه مورد مطالعه در مقایسه با مدل‌های دیگر دقت بیشتری داشتند. کمترین دقت نیز در هر دو خاک شخم خورده و شخم نخورده پس انجام عملیات بهینه‌سازی به‌ترتیب به دو مدل کوستیاکوف و هورتون تعلق گرفت.

منابع

1. Abareshi, F., M. Meftah, A. Dehghani and A.R. Kaboli. 2013. Optimization of hydrodynamic coefficients of Zarin Gol plain aquifer by mathematical model. The first Conference of Applied Geology. Damghan University (In Persian).
2. Ahmad A. 1990. Effect of plow sole on soil infiltration rate and crop yield in irrigation soil. J. Agric. Mechanization in Asia, Africa and Latin America Journal, 21: 24-26.
3. Aon, M.A., D.E. Sarena, J.L. Burgos and S. Cortassa. 2001. (Micro) biological, Chemical and physical properties of soils subjected to conventional or no-till management and assessment of their quality status. Soil and Tillage Resource, 60: 173-186.
4. Azmoodeh, A., A. Kavian, K. Soleimani and G. Vahabzadeh. 2010. Comparing Runoff and Soil Erosion in Forest, Dry Farming and Garden Land Uses Soils Using Rainfall Simulator. Journal of Water and Soil, 24(3): 490-500 (In Persian).
5. Benjamin, J.G. 1993. Tillage effect on near surface soil hydraulic properties. Soil and Tillage Research, 26: 277-288.
6. Bodhinayake, W., BC. Si and K. Noborio. 2004. Determination of hydraulic properties in sloping landscapes from tension and double-ring infiltrometers. Vadose Zone Journal, 3: 964-970.
7. Bormann, H and K. Klassen. 2008. Seasonal and land use dependent variability of soil hydrological properties of two northern German soils. Geoderma, 145: 295-302
8. Bouman, B.A.M., R.M. Lampayan and T.P. Tuong. 2007. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, pp: 1-54.
9. Chen, L., L. Xiang, M. Young, J. Yin, Y. Zhongbo and T. Genuchten. 2015. Optimal parameters for the Green-Ampt infiltration model under rainfall conditions. Journal of HydrologyHydromechanics, 63 (2): 93-101.
10. Dixon, R.M. 1975. Infiltration control through soil surface management. Proc, ASCE, symp. Watershed management, Utah, St. University, Logan, August, 11-13: 543-567.
11. Dunne, T and L.B. Leopold. 1978. Water in environmental planning freeman and company.
12. Ebrahimi, K and F. Nayebloei. 2009. Estimation of basic infiltration rate using Artificial Neural Network case study, Aburaihan Campus Farm. Journal of Water and Soil Conservation, 16(1): 37-57 (In Persian).
13. Ebrahimi, S., H. Bahrami, M. Homaee and M.J. Malakouti. 2004. Effect of organic matter on reducing soil erosion in agricultural land, Publication No. 404, Ministry of Jihad-agriculture. Tehran, Iran (In Persian).
14. Fakher Nikche, A., M. Vafakhah and S. Sadeghi. 2014. Efficiency Evaluation of Different Infiltration Models in Different Land Uses and Soil Classes using Rainfall Simulator. Journal of Water and Soil Science, 24(1): 183-193 (In Persian).
15. Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaee and M. Mahdian. 2007. Estimating soil water infiltration parameters using Artificial Neural Networks. Water and Soil Journal, 23(1): 185-198 (In Persian).
16. Ghorbani Dashtaki, S., M. Homaee, MH. Mahdian and M. Kouchakzadeh. 2009. Site-Dependence Performance of Infiltration Models. Water Resource Management, 23: 1573-1650 (In Persian).
17. Girei, A. H., A. Abdulkadir and N. Abdu. 2016. Goodness of fit of three infiltration models of a soilunder long-term trial in Samaru. Northern Guinea Savanna of Nigeria, 7(5): 64-72.
18. Goodarzi L., A. Akhondi and H. Zarei. 2013. Evaluation and determination of infiltration models in Oshtorian plain. Water and Soil Resources Conservation Journal, 1(3): 39-44 (In Persian).
19. Heydari, A. 2011. Effect of Tillage Methods on Soil Physical Properties and Irrigated Wheat Yield. Isfahan University of Technology, 15(57): 115-124 (In Persian).
20. Kavousi, S. S., M. Vafakhah, and M. H. Mahdian. 2013. Evaluation of Some Infiltration Models for Different Land Uses in Kojour Watershed. Irrigation & Water Engineering, 4(13): 1-13 (In Persian).
21. Licht, M and M. Al-Kaisi. 2012. Less Tillage for More Water in 2013. ISU Extension Available at http://www.extension.iastate.edu/CropNews/2012/0921lichtal-kaisi.htm.
22. Mahmoodabadi, M. and M.R. Mazaheri. 2012. Effect of some soil physical and chemical properties on permeability in field conditions. Journal of Water and Irrigation Engineering, 2(8): 14-25 (In Persian).
23. Maleki, A., M. Behzad and M. Broumand Nasab. 2004. Determination and Evaluation of infiltration models coefficients in Sugarcane Land. Agriculture, 31: 27-46.
24. Matula, S. 2003. The influence of tillage treatments on water infiltration into soil profile. Plant Soil Environ, 49(7): 298-306 (In Persian).
25. Miller, J.J., N.J. Sweetl and F.J. Larnry and K.M. Volkmar. 1998. Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soil in southern Alberta. Canadian Journal Soil Science, 78: 643-648.
26. Mohammadi, M.H. and H. Refahi. 2005. Estimating parameters of infiltration equations using soil physical properties. Journal of Agriculture Science Iran, 36(6): 1391-1398 (In Persian).
27. Neshat, A and M. Parehkar. 2007. The comparison ofmethods for determining the vertical infiltration rate. Journal of Agriculture Science Natural Resources, 14(3): 186-195 (In Persian).
28. Parchami Araghi, F., S.M. Mirlatifi, S. Ghorbani Dashtaki and M.H. Mahdian. 2010. Estimating Cumulative Infiltration Using Artificial Neural Networks in Calcareous Soils. Journal of Water and Soil, 24(3): 512-526 (In Persian).
29. Pitkanen, J. and V. Nuutinen. 1998. Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of different soil management. Applied Soil Ecology, 9: 411- 415.

30. Rasoili Sharbiyani, V. and Y. Abaspour Gilandare. 2008. Effect of different tillage methods on soil physical characteristics. Fifth National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization (In Persian).
31. Rawls, W.J. and D.L. Brakenseik. 1985. Prediction of soil water properties for hydrologic modeling. In: Jones E. B and Ward, T. J. (Eds). Watershed Management in the Eighties. Proceedings of the Symposium, ASCE Convention in Denver, Colorado, USA.
32. Sadeghi, M., B. Ghahraman, A.N. Ziaei and K. Davary. 2013. Approximate Solutions to Richards' Equation for Soil Water Infiltration Using Scaling. Journal of Water and Soil, 27(3): 525-536 (In Persian).
33. Shaabani Bazneshin, A., A. Emadi and R. Fazloula. 2016. Investigation the Flooding Potential of Basins and Determination Flood Producing Areas (Case Study: NEKA Basin). Journal of Watershed Management Research, 7(14): 20-28 (In Persian).
34. Soleimani, L., A. Haghizadeh and H. Zeinivand. 2016. The Determination of the Best Models to Estimate the Infiltration in Various Land uses for Optimum Management of Watersheds (Case Study: Kakasharaf Watershed, Lorestan Province). Journal of Watershed Management Research, 7(13): 33-41 (In Persian).
35. Sy, N.L. 2006. Modelling the infiltration process with a multi-layer perceptron artificial neural network. Hydrology Science Journal, 51(1): 3-20.
36. Vahedi, S., O. Bahmani, H. Zare Abyanrh and M. Abbasi. 2015. Estimating the final constant infiltration rate with infiltration models and pedotransfer functions. Iran Water Research Journal, 9(4): 9-19 (In Persian).
37. Vahedi, A.A. and A. Bijani-nejad. 2015. Variation within soil organic carbon pool in the forest-paddy field edges (Case study: Nour Forest Park). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23(1): 104-116.
38. Zare Abyaneh, H., H. Nouri, A. Liyaghat and H. Nouri. 2011. Calibration of Nitrate Leaching and Water Table Fluctuation in Paddy Rice Field by DRAINMOD-N Software. Science and Technology of Agriculture and Natural Science, 15(57): 49-60 (In Persian).

Optimization of Infiltration Models Coefficients in fields of Haraz Extension and Technology Development Center

Maryam Bayatvarkeshi[1], Hamid Zareabyaneh[2], Ali Ghadami Firouzabadi[3] and Valiollah Karimi[4]

1- Assistant Professor, Department of Soil Science, Malayer University, Malayer
(Corresponding author: m.bayat.v@malayeru.ac.ir)
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan
3- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran
4-Assistant professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Mazandaran Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari
Received: September 3, 2016 Accepted: January 25, 2017

Abstract

Quantitation and evaluation of infiltration models are used in soil conservation, irrigation systems, hydrology investigations, watershed and watershed management systems. The purpose of this study was to estimate the infiltration by using statistical and experimental various models in two soils of plowed and without plowed in Haraz Technology and Development center paddy fields of Mazandaran province. The infiltration value was measured by the double rings in plowed and without plowed soils and then was compared with Kostiakov, Kostiakov-Lewis, Philippe, Horton and Soil Conservation Service (SCS) models. The results showed that the final infiltration rate in plowed and not plowed soils were 0.12 and 0.21 cm/min, respectively. The comparison of the estimated infiltration from each of the models with real amounts was done by the average normal root mean square error (NRMSE). The results showed that NRMSE values in plowed and not plowed soils were 21.53 and 6.45 %, respectively. With optimization of models in Solver Excel, amount of NRMSE reduced to 2.48 and 1.9%, respectively. Also according to comparison of infiltration models in both plowed and not plowed soils, the SCS and Kostiakov-Lewis models showed better fits than other models. So that, SCS model for not plowed soil was $I=0.8459t^{1.0417}+0.6985$ and for plowed soil was $I=0.891t^{1.026}+0.6985$. In general, could be said that fitting of physical and empirical models had good accuracy on Mazandaran paddy fields. Another finding of this study was the better results in the plowed soil based on NRMSE. Therefore, this method can use in paddy fields.

Keywords: Optimization, Kostiakov-Lowis, Mazandaran, SCS, Infiltration