نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هفتم، شماره اول، ۱۳۹۶
http://ejsms.gau.ac.ir

تأثیر کاربری اراضی بر کارآیی برخی از مدل‌های نفوذ آب به خاک

*محمودرضا سعدی‌خانی[۱] و اکبر سهرابی[۲]
[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان، [۲]استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان
تاریخ دریافت: ۹٤/۱۰/۲٦ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/٦/۱٦

چکیده

سابقه و هدف: نفوذ آب به خاک یکی از ویژگی‌های کلیدی در طراحی سامانه‌های آبیاری، پژوهش‌های هیدرولوژی، مدیریت منابع آب و حفاظت خاک، طراحی و اجرای پروژه‌های زهکشی و کنترل فرسایش در حوضه‌های آبخیز است. همچنین، سنجش دقیق مقادیر نفوذ آب به خاک با توجه به زمان برای برآورد آب ذخیره شده در ناحیه ریشه گیاه، اهمیت زیادی در طراحی و برنامه‌ریزی‌های آبیاری دارد. به همین خاطر پژوهش‌گران همواره دنبال ارائه مدلی مناسب برای بیان کمی نفوذ آب به خاک بودند. به‌دلیل اهمیت نفوذ آب به خاک، مدل‌های فیزیکی و تجربی گوناگونی به‌منظور برآورد این فرآیند در دهه‌های گذشته ارائه گردیده است. در پژوهش حاضر، عملکرد مدل‌های نفوذ گرین- آمپت، فیلیپ، هورتون، SCS، کوستیاکوف و کوستیاکوف- لوییز در برآورد نفوذ تجمعی و نیز وابستگی عملکرد آن‌ها به کاربرهای اراضی (زراعی، باغ و مرتع) در مرودشت استان فارس مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، داده‌های حاصل از آزمایش‌های نفوذپذیری به روش استوانه دوگانه در ۸۲ نقطه واقع در مناطق متفاوت شهرستان مرودشت استان فارس انجام شد. خاک‌های مورد مطالعه در رده‌های اریدی‌سول، اینسپتی‌سول و انتی‌سول قرار داشته و نوع کاربری اراضی نیز شامل زراعی، باغ و مرتع بود. بدین‌ترتیب، تعداد نفوذ اندازه‌گیری شده در کاربری‌های زراعی، باغی و مرتعی به‌ترتیب برابر ۳۷، ۲۵ و ۲۰ نوع خاک بود. پارامترهای مدل‌های یاد شده به روش حداقل مجموع مربعات خطا تعیین گردید. به‌منظور بررسی دقت و صحت عملکرد مدل‌های مورد بررسی در برآورد نفوذ تجمعی، از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، انحراف معیار آماره RMSE (SDRMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که در مقایسه با سایر مدل‌ها، برآوردهای نفوذ تجمعی توسط مدل کوستیاکوف- لوییز از روند پایدارتری برخوردار بود و در هر سه کاربری مورد بررسی دارای رتبه نخست ارزیابی گردید (R^2=۰/۹۹۷، RMSE=۰/۲۰٦ و SDRMSE=۰/۲۰۱). با توجه به نتایج به‌دست آمده از ارزیابی کلی برآورد نفوذ تجمعی توسط مدل‌های نفوذ مورد بررسی در این پژوهش، مدل‌های کوستیاکوف- لوییز و هورتون به‌ترتیب در رتبه‌های اول و دوم، مدل‌های گرین- آمپت و سرویس حفاظت خاک آمریکا هر دو رتبه سوم و مدل‌های کوستیاکوف و فیلیپ به‌ترتیب در رتبه‌های چهارم و پنجم ارزیابی قرار گرفتند. بنابراین، می‌توان گفت از بین مدل‌های نفوذ مورد بررسی، مدل

* مسئول مکاتبه: mahmoodrezasadikhani@yahoo.com

کوستیاکوف- لوییز بهترین مدل برای بیان کمی فرآیند نفوذ آب به خاک است. یکی از دلایل برتری مدل کوستیاکوف- لوییز بیش‌تر بودن تعداد پارامترهای آن نسبت به مدل‌های SCS، کوستیاکوف، فیلیپ و گرین- آمپت به‌علت تعیین پارمترهای مدل‌های یاد شده به روش برازش می‌باشد. این ویژگی باعث انعطاف‌پذیری بیش‌تر این مدل نسبت به سایر مدل می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: استوانه دوگانه، کارآیی، مدل‌های نفوذ، کاربری اراضی، مرودشت

مقدمه

نفوذ از جمله پدیده‌های مهمی است که متأثر از پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی خاک می‌باشد. طبق تعریف، فرآیند جریان عمودی آب از سطح به خاک را نفوذ می‌گویند (۳ و ۲۲). مقدار آبی که در یک دوره زمانی مشخص در خاک نفوذ می‌کند، نفوذ تجمعی است. کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک، به‌منظور تعیین مقدار آب قابل دسترس برای رشد گیاه و تخمین مقدار آب اضافی مورد نیاز که باید از طریق آبیاری تأمین شود. همچنین، آگاهی از پارامترهای هیدرودینامیکی برای شبیه‌سازی فرآیندهای انتقال و برآورد نتایج آن‌ها مورد نیاز است. اهمیت این فرآیند سبب گردیده است که مدل‌های فیزیکی و تجربی گوناکونی به‌منظور به کمی کردن این فرآیند در طول چند دهه اخیر ارائه گردد (۲).

به‌طورکلی مدل‌های نفوذ آب به خاک، شامل مدل‌های با اساس فیزیکی و مدل‌های تجربی می‌باشد (۱۵). در مدل‌های با اساس فیزیکی مانند مدل گرین- آمپت و فیلیپ با تکیه بر مبنای فیزیکی سعی در ساده‌سازی شرایط اولیه و شرایط مرزی در معادله جریان در محیط غیراشباع شده است. این فرضیات، داده‌های فیزیکی مورد نیاز این مدل‌ها را کاهش می‌دهد، اما از کارآیی آن‌ها به سبب تغییر شرایط اولیه و مرزی می‌کاهد (۱۰). مدل‌های تخمینی تجربی به لحاظ فرضیاتی که به شرایط سطح خاک و نیمرخ خاک مربوط می‌شود، دارای محدودیت کم‌تری هستند و در عوض به شرایطی که به آن واسنجی شده‌اند، محدود می‌گردند. مدل‌های تخمینی تجربی بر اساس پارامترهایی هستند که از طریق برازش منحنی تعیین می‌گردند و یا از روش‌های دیگر تخمین‌زده می‌شوند. از مدل‌های تجربی می‌توان به مدل‌های کوستیاکوف (۱٤)، هورتون (۱۱)، کوستیاکوف- لوییز (۱٦) و مدل حفاظت خاک آمریکا (SCS) اشاره نمود.

نوع کاربری اراضی با تأثیر بر فرآیند نفوذ آب به خاک، نقش مهمی در مدیریت بحران خشکسالی، حفاظت خاک و کنترل رواناب و سیل دارد. کاربری اراضی از طرق گوناگون از جمله تغییر ویژگی‌های سطح خاک و هندسه منافذ خاک، بر نفوذ آب به خاک تأثیر می‌گذارد. کاربری‌های مختلف از یک طرف خصوصیات فیزیکی و مقدار جریان عبوری در خاک و در نتیجه هدایت هیدرولیکی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و ار طرف دیگر مقدار رطوبت باقی‌مانده در خاک در مکش‌های مختلف در اراضی با کاربری‌های مختلف را دچار تغییرات می‌نماید. عواملی مثل بافت خاک، ساختمان خاک، میزان مواد آلی، مدیریت و نوع لایه‌های خاک بر میزان نفوذپذیری تأثیر دارند. عامل مدیریتی کاربری‌های مختلف اراضی نیز با ایجاد بهم‌خوردگی سطح خاک و اثر بر میزان پوشش گیاهی تأثیر زیادی بر میزان نفوذپذیری، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی خاک دارد (۲۳). لارسون و

الیاسون (۲۰۰۶) با بررسی و مطالعه تفاوت میان نرخ نفوذپذیری خاک در جنگل طبیعی، جنگل مصنوعی (جنگل‌کاری شده)، بوته‌زار و زمین کشاورزی به کمک استوانه‌های نفوذسنج نشان دادند که نرخ نفوذپذیری بوته‌زار از زمین کشاورزی و جنگل کم‌تر است. همچنین آن‌ها بیش‌ترین میانگین نفوذ اشباع را در جنگل مصنوعی و کم‌ترین آن را در بوته‌زار مشاهده نموده و تغییر کاربری اراضی را یکی از عوامل اصلی مؤثر بر نرخ نفوذپذیری خاک برشمردند. قربانی‌دشتکی و همکاران (۲۰۱۰) نفوذ آب به خاک را در منطقه تنگ‌نثارِبن واقع در استان چهارمحال و بختیاری که به‌طور هم‌زمان دارای مراتع حفاظت‌شده و مراتع تخریب‌شده بود به روش تک استوانه‌ای (قطر ۳۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری کردند (۹). نتایج نشان داد که میانگین نفوذ تجمعی آب به خاک در مرتع حفاظت شده بیش‌تر از مقدار آن در مراتع تخریب شده بود. به‌نظر می‌رسد عملیات شخم و شیار انجام شده و در نتیجه تخریب مرتع، یکی از دلایل کاهش نفوذ آب به خاک در مراتع تخریب شده نسبت به مراتع حفاظت شده باشد. زیرا در اثر عملیات شخم و شیار، ماده آلی خاک برای تجزیه میکروبی سهل‌الوصول‌تر شده و در نتیجه ساختمان خاک تخریب و همچنین سخت لایه‌ای با نفوذپذیری کم در خاک‌رخ ایجاد می‌گردد. فکوری و همکاران (۵) کارآیی مدل‌های نفوذ آب به خاک را در کاربری‌های کشاورزی، مرتع و باغ در شهرستان نیشابور بررسی کردند. در این بررسی، در کاربری کشاورزی مدل‌های هورتون، کوستیاکوف و کوستیاکوف- لوئیز به‌ترتیب از دقت بالایی در برآورد نفوذ تجمعی برخوردار بودند. در کاربری‌های مرتع و باغ، مدل‌های کوستیاکوف و فیلیپ به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین دقت در برآورد نفوذ آب در خاک بودند.

کرمی و همکاران (۲۰۱۲) شش مدل نفوذ شامل هورتن، کوستیاکوف، کوستیاکوف- لوئیز، SCS، فیلیپ و گرین- آمپ را در دشت خوزستان ایران با داده‌های مشاهده‌ای استوانه دوگانه مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که کوستیاکوف- لوئیز، کوستیاکوف و فیلیپ دارای نتایج بهتری نسبت به سه مدل دیگر است (۱۲). هفت مدل شامل هورتن، فیلیپ، اسوارتزندرودر، کوستیاکوف، کوستیاکوف- لوئیز، کوستیاکوف- لوئیز تجدیدنظر شده و SCS توسط ذولفقاری و همکاران (۲۰۱۲) بر اساس داده‌های استوانه دوگانه بررسی و نتیجه‌گیری شد که مدل کوستیاکوف-لوئیز بهترین برازش را برا داده‌های مشاهده‌ای داشته و مدل SCS ضعیف‌ترین همبستگی را از خود نشان داده است (۲۵). نادری‌فر و همکاران (۲۰۱۳) از داده‌های آزمایش استوانه دوگانه با بار ثابت در حوضه شهرکرد، چهار مدل گرین- آمپت، کوستیاکوف، کوستیاکوف- لوئیز و فیلیپ را بررسی و نتیجه‌گیری نمودند که بر اساس ضریب همبستگی پیرسون مدل فیلیپ بهترین عملکرد را داشته است (۱۷). کاوسی و همکاران (۲۰۱۳) در چهار نوع کاربری اراضی با اندازه‌گیری نفوذ با استوانه دوگانه ۵ مدل نفوذ شامل مدل‌های نفوذ SCS، فیلیپ، کوستیاکوف، گرین- آمپ و هورتون را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که مدل کوستیاکوف در هر چهار کاربری بهترین برازش را با داده‌های مشاهده‌ای داشته است (۱۳). عرب و همکاران (۲۰۱٤) چهار مدل کوستیاکوف، هورتون، فیلیپ و تالسما- پارلانج را بر اساس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری با استوانه دوگانه ارزیابی نموده و نتیجه‌گیری نمودند که به‌ترتیب دو مدل کوستیاکوف و فیلیپ دارای برآورد مناسبی از نفوذ مشاهده‌ای استوانه دوگانه است (۱). فاخرنیکچه و همکاران (۲۰۱٤) پارامترهای ۵ مدل

نفوذپذیری کوستیاکوف، گرین- آمپ، هورتون، سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا (NRCS) و فیلیپ را در چهار کاربری اراضی شامل باغی، کشاورزی، مرتع و آیش و سه کلاس بافت شنی رسی لومی، لومی، شنی لومی بررسی و محاسبه نمودند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که مدل‌های کوستیاکوف و NRCS بهترین عملکرد را در برآورد دقیق‌تر مقادیر نفوذ تجمعی در کل حوزه آبخیز دارا بوده و نیز دارای روند پایدارتری در برآورد نفوذ تجمعی در کاربری‌های مختلف بود (۱٤). پرهمت و نظری پویا (۲۰۱٦) طی مطالعه خود بر روی بررسی مدل‌های نفوذ در اراضی مرتعی استان همدان به این نتیجه رسیدند که مدل فیلیپ نفوذ را با دقت بیش‌تری برآورد نموده و در مرتبه بعد مدل کوستیاکوف قرار گرفت (۲۱).

از آن‌جا که نفوذ آب در خاک در چرخه آبی، مدیریت صحیح آبیاری، ذخیره رطوبت مطلوب خاک در مناطق خشک و عملکرد زراعی بهینه نقش مهمی دارد. همچنین، اندازه‌گیری نفوذ آب در خاک هزینه زیادی داشته و زمان‌بر می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به این‌که نوع عملیات مدیریتی متفاوت در کاربری‌های مختلف که ممکن است سبب تغییر ساختمان فیزیکی خاک و در نتیجه نفوذپذیری خاک گردند. از طرفی پژوهش‌های وسیع گذشته در مقایسه و ارزیابی مدل‌های نفوذ با داده‌های مشاهده‌ای استوانه دوگانه نشان می‌دهند که هرکدام از مدل‌ها در شرایط مختلف رفتار متفاوتی از خود نشان داه و نیز هرکدام از این مدل‌ها خود در شرایطی بر بقیه برتری داشته است. از دیگر سو، منطقه مورد مطالعه مرودشت، استان فارس به‌صورت یک منطقه انتقالی بین مناطق مرطوب شمال و نیمه‌مرطوب واقع شده است و بارندگی‌های شدید و سیلابی به‌ویژه در اوایل بهار رخ می‌دهد. این امر، موجب خسارت زیاد به کشاورزان، از بین رفتن جاده‌ها، پر شدن مخازن آب و به دنبال آن تخریب اکوسیستم منطقه و خشکسالی می‌گردد. بنابراین در پژوهش حاضر سعی شده است فرآیند نفوذ آب به خاک در سه کاربری شامل زراعت، باغ و مرتع بررسی و کارآیی چندین مدل برای تخمین مقادیر تجمعی نفوذ در کاربری‌های مختلف مقایسه شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی ۸۲ نقطه خاک واقع در شهرستان مرودشت استان فارس انجام شد. خاک‌های مورد مطالعه در رده‌های اریدی‌سول، اینسپتی‌سول و انتی‌سول قرار داشته و نوع کاربری اراضی نیز شامل زراعی، باغ و مرتع بود. ابتدا نقاط اندازه‌گیری در هر کاربری مشخص و سپس فرایند نفوذ آب به خاک با استفاده از روش استوانه‌های دوگانه با سه تکرار در ۸۲ نقطه مورد بررسی قرار گرفت. قطر استوانه‌های داخلی و خارجی برای اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک به‌ترتیب برابر ۳۰ و ۷۰ سانتی‌متر بود. برای شروع آزمایش استوانه‌ها حدود ۵ سانتی‌متری در سطح خاک فرو رفتند سپس هر دو استوانه در فاصله خیلی کمی با آب شهری پر شدند. سپس، میزان نفوذ آب به خاک در فاصله زمانی مختلف اندازه‌گیری شدند. پایان آزمایش زمانی بود که اختلاف سه اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک در فاصله زمانی ۲۰ دقیقه کم‌تر از ۵ درصد باشد. بدین‌ترتیب، تعداد نفوذ اندازه‌گیری شده در کاربری‌های زراعی، باغی و مرتعی به‌ترتیب برابر ۳۷، ۲۵ و ۲۰ نوع خاک بود. بافت خاک به روش هیدرومتر تعیین شد (٦). خاک‌های مورد استفاده در این بررسی دامنه وسیعی از کلاس‌های بافتی خاک را شامل می‌شد که توزیع آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

پارامترهای برازشی هر یک از مدل‌های نفوذ تجمعی کوستیاکوف (۱٤)، کوستیاکوف- لوئیز (۱٦)، SCS (۲٤)، فیلیپ (۲۰)، هورتون (۱۱) و گرین- امپت (۷) (جدول ۱) با استفاده از بهینه‌سازی غیرخطی نرم افزار Mat Lab 7.7.0 (R2008b)، به روش حداقل مربعات تعیین شد. تابع هدف مطابق رابطه ۱ است (۱۰):

$$SSE = \sum_{i=1}^{N} [I_{m_i} - I_{p_i}]^2 \qquad (۱)$$

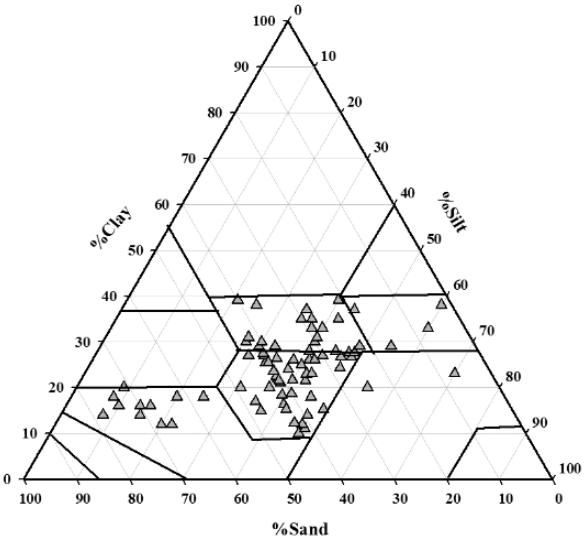
که در آن، N ,...,2 ,1 = i؛ N تعداد نقاط اندازه‌گیری شده، SSE مجموع مربعات خطا، I_{m_i} مقدار نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده و I_{p_i} مقدار نفوذ تجمعی برآوردی به‌وسیله مدل است.

برای بررسی کارآیی مدل‌های نفوذ در برآورد مقادیر نفوذ تجمعی آب در خاک از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. مقدار آماره ریشه میانگین مربعات خطا همواره مثبت بوده و با نزدیک شدن آن به صفر، عملکرد مدل مورد بررسی بهبود می‌یابد. هم‌چنین، از آن‌جا که انحراف معیار یک آماره بیانگر دقت و منظم بودن یک آماره بوده و پراکنش داده‌ها را حول میانگین نشان می‌دهد، از انحراف معیار آماره RMSE (SDRMSE) نیز برای ارزیابی مدل‌ها استفاده گردید. آماره‌های فوق برای رتبه‌بندی نهایی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به هر یک از آماره‌ها رتبه‌ای به مدل‌های مورد بررسی داده شد که میانگین این رتبه‌ها، به‌عنوان رتبه نهایی هریک از مدل‌ها در نظر گرفته شد. هم‌چنین برای مقایسه میانگین ضرایب برازشی معادلات نفوذ از آزمون t مستقل در نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} [I_i - I_l]^2}{N} \right]^{1/2} \qquad (۲)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} (I_i - \overline{I_l})(I_i - \overline{I_l})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (I_i - \overline{I_l})^2 (I_i - \overline{I_l})^2}} \right]^2 \qquad (۳)$$

که I_i مقادیر تخمینی، I_l مقادیر واقعی متغیرها و N تعداد داده‌ها می‌باشد.



شکل ۱- توزیع کلاس بافتی خاک‌های مورد مطالعه.

Figure 1. Soil texture class distribution of the studied soils.

جدول ۱- مدل‌های نفوذ آب به خاک مورد بررسی در این پژوهش.

Table 1. Soil water infiltration models used in this study.

	مدل Model	علامت اختصاری Abbreviation sign	معادله Equation	توضیحات Explanations
تجربی Empirical	کوستیاکوف Kostiakov	Ko	$I = at^b$	I نفوذ تجمعی (سانتی‌متر) و t زمان (دقیقه) می‌باشد. a، b، S، A، c، m، k، G پارامتر حاصل از برازش مدل‌ها به داده‌های نفوذ تجمعی می‌باشد.
	کوستیاکوف- لوئیز Kostiakov–Lewis	KL	$I = at^b + kt$	
	SCS	SCS	$I = at^b + 0.698$	
فیزیکی Physical	فیلیپ Philip	Ph	$I = St^{0.5} + At$	
	هورتون Horton	Ho	$I = ct + m(1 - e^{-at})$	
	گرین- امپت Green-Ampt	GA	$I = kt + G\ln(1 + I/G)$	

نتایج و بحث

نتایج کارآیی مدل‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. عددی که در این جدول در داخل پرانتز و در کنار مقادیر انحراف از معیار رتبه نهایی ذکر شده است، بیانگر رتبه هر مدل به لحاظ پایداری رتبه عملکرد آن در کاربری‌های مختلف اراضی می‌باشد. بر اساس نتایج جدول فوق، کم‌ترین مقدار آماره RMSE در سه کاربری برای مدل کوستیاف- لوییز به‌دست آمد (جدول ۲). مدل فیلیپ در کاربری زراعت، مدل گرین- امپت در کاربری باغ و مدل کوستیاکوف در کاربری مرتع بیش‌ترین خطا را داشتند (جدول ۲). همچنین، نتایج نشان داد که مدل هورتون در کاربری مرتع و زراعت دارای رتبه دوم و در کاربری باغ دارای رتبه سوم در تخمین نفوذ آب به خاک شد. مقایسه مقادیر آماره SDRMSE نشان داد که در کاربری زراعت مدل هورتون و در کاربری‌های باغ و مرتع مدل SCS به لحاظ دقت در برآورد نفوذ تجمعی، کارآیی پایدارتری داشت (جدول ۲). همچنین، به لحاظ این‌که روش تعیین پارمترهای مدل‌های یاد شده روشی برازشی بوده، یکی از دلایل برتری مدل کوستیاکوف- لوییز تعداد پارامتر زیاد آن نسبت به مدل‌های SCS، کوستیاکوف، فیلیپ و گرین- آمپت می‌باشد. این ویژگی باعث انعطاف‌پذیری بیش‌تر این مدل به هنگام تعیین پارامترها گردید (۳). از آن‌جا که در این پژوهش، مقادیر پارامترهای مدل‌های نظری فیلیپ و گرین- آمپت، مشابه با مدل‌های تجربی از طریق برازش بر داده‌های آزمایش‌های نفوذپذیری تعیین گردید، بنابراین این پارامترها مفهوم فیزیکی نخستین خود را دست داده و به مراتب با خطای بیش‌تری همراه بود.

مقایسه عملکرد هر یک از مدل‌ها در کاربری‌های مختلف بیانگر آن است که عملکرد مدل‌های نفوذ آب به خاک در کاربری‌های مختلف متفاوت بود. همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است مدل کوستیاکوف- لوئیس بیش‌ترین دقت و کم‌ترین خطا را به‌ترتیب در کاربری‌های باغ، مرتع و زراعت را دارا بود. سایر مدل‌ها نیز براساس جدول ۲ تحت کاربری‌های مختلف عملکرد متفاوتی داشتند. بنابراین،

عملکرد مدل‌های نفوذ آب به خاک، وابستگی زیادی به نوع کاربری اراضی دارند. دلیل این امر می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که گستردگی تغییرات ویژگی‌های در کاربری زراعت در مقایسه با کاربری‌های باغ و زراعت به‌دلیل کشت و کار هر ساله، ماده آلی پایین، فشردگی خاک، ورود ماشین‌های سنگین، مدیریت متفاوت و متنوع است. بنابراین، پایداری کارآیی تخمین نفوذ آب به خاک در کاربری باغ بیش‌ترین و در کاربری زراعت کم‌ترین به‌دست آمد. نتایج مشابهی توسط پرچمی‌عراقی و همکاران (۲۰۱۰) بر روی کارآیی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک در کاربرهای مختلف گزارش شده که آن‌ها هم مدل کوستیاکوف- لوییز را به‌عنوان مدل برتر در کاربری‌های مختلف معرفی کرده‌اند (۸). براساس نتایج کرمی و همکاران (۲۰۱۲) و ذولفقاری و همکاران (۲۰۱۲) نیز مدل کاستیاکف- لوئیز بهترین مدل در تخمین نفوذ آب به خاک بود (۱۲ و ۲۵).

جدول ۲- مقادیر آماره‌های ارزیابی و رتبه عملکرد هر یک از مدل‌های مورد بررسی در کاربری‌های مختلف اراضی.

Table 2. Values of evaluation criteria and ranking performance for each examined model in different land uses.

نوع کاربری Land use type	آماره ارزیابی Evaluation criteria	نوع مدل Model type					
		گرین- امپت Green-Ampt	فیلیپ Philip	هورتون Horton	SCS	کوستیاکوف Kostiakov	کوستیاکوف- لوییز Kostiakov-Lewis
زراعت Agronomy	SSE	3.874(4)	4.135(5)	2.116(2)	2.820(3)	2.821(4)	1.676(1)
	R^2	0.987(4)	0.984(5)	0.992(2)	0.990(3)	0.998(1)	0.998(1)
	RMSE	0.344(2)	0.422(6)	0.391(5)	0.385(4)	0.352(3)	0.216(1)
	SDRMSE	0.416(6)	0.415(5)	0.263(1)	0.295(3)	0.336(4)	0.283(2)
	رتبه نهایی Final rank	5	6	2	4	3	1
باغ Garden	SSE	1.213(5)	0.247(2)	0.300(3)	1.502(6)	0.446(4)	0.093(1)
	R^2	0.997(3)	0.996(4)	0.998(2)	0.938(5)	0.999(1)	0.999(1)
	RMSE	0.176(5)	0.102(2)	0.119(3)	0.313(6)	0.122(4)	0.068(1)
	SDRMSE	0.207(6)	0.078(3)	0.085(4)	0.035(1)	0.123(5)	0.044(2)
	رتبه نهایی Final rank	6	2	3	5	4	1
مرتع Grassland	SSE	1.818(4)	0.095(1)	1.309(3)	2.703(5)	3.268(6)	0.943(2)
	R^2	0.989(5)	0.994(3)	0.997(1)	0.993(4)	0.996(2)	0.997(1)
	RMSE	0.233(2)	0.298(4)	0.253(3)	0.384(6)	0.382(5)	0.199(1)
	SDRMSE	0.225(4)	0.264(6)	0.154(3)	0.148(1)	0.242(5)	0.151(2)
	رتبه نهایی Final rank	4	3	2	5	6	1
انحراف معیار رتبه‌های نهایی Standard deviation of final rank		1.000(3)	2.081(5)	0.577(2)	0.577(2)	1.527(4)	0(1)

بررسی رتبه کلی عملکرد هر یک از مدل‌های نفوذ مورد بررسی به‌ازای تمامی آزمایش‌های نفوذپذیری صورت گرفته نیز در جدول ۳ ارائه گردیده است. با توجه به جدول ۳، مقادیر آماره ضریب تبیین نشان‌دهنده آن است که به لحاظ برازش مدل‌های مورد بررسی بر داده‌های نفوذ تجمعی، مدل کوستیاکوف- لوییز و کوستیاکوف در رتبه اول و مدل گرین- آمپت در رتبه آخر قرار دارد. مقایسه مقادیر آماره RMSE نشان داد که از نظر خطای کل برآورد نفوذ تجمعی، مدل کوستیاکوف- لوییز و مدل سرویس حفاظت خاک آمریکا به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین خطای برآورد را داشته‌اند. همین‌طور، با توجه به این‌که مقدار انحراف معیار RMSEها (SDRMSE) بیانگر پراکنش خطای برآورد حول میانگین RMSEها می‌باشد، بنابراین مقدار این آماره نشان داد که دقت هر مدل در برآورد نفوذ تجمعی در خاک‌های مختلف دارای چه پراکنشی بود. مقادیر این آماره در جدول ۳ بیانگر آن است که مدل سرویس حفاظت خاک آمریکا نفوذ تجمعی را در خاک‌های مختلف با دقت یکسان‌تری نسبت به بقیه مدل‌ها برآورد کرد. از این نظر، مدل‌های کوستیاکوف- لوییز، هورتون، کوستیاکوف، گرین- آمپت و فیلیپ در رتبه‌های بعدی ارزیابی قرار گرفتند. به‌طورکلی با توجه به مقادیر رتبه نهایی، مدل کوستیاکوف- لوییز به‌عنوان برترین مدل نفوذ برای هر کل داده‌های نفوذ آب به خاک و مدل‌های هورتون، گرین- آمپت، سرویس حفاظت خاک آمریکا و فیلیپ به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

جدول ۳- مقادیر آماره‌های ارزیابی و رتبه مدل‌های نفوذ به‌ازای تمامی داده‌های هر سه کاربری.

Table 3. Values of evaluation criteria and infiltration model rank on all data of three land uses.

آماره ارزیابی Evaluation criteria	نوع مدل Model type					
	گرین- امپت Green-Ampt	فیلیپ Philip	هورتون Horton	SCS	کوستیاکوف Kostiakov	کوستیاکوف- لوییز Kostiakov-Lewis
SSE	2.390(3)	2.830(5)	1.466(2)	2.623(4)	2.851(6)	1.092(1)
R^2	0.989(4)	0.991(3)	0.996(2)	0.991(3)	0.997(1)	0.997(1)
RMSE	0.262(2)	0.319(4)	0.284(3)	0.378(6)	0.347(5)	0.206(1)
SDRMSE	0.296(5)	0.317(6)	0.205(3)	0.198(1)	0.273(4)	0.201(2)
رتبه نهایی Final rank	3	5	2	3	4	1

به‌منظور بررسی مقادیر نفوذ تجمعی در کاربری‌های مختلف، مقایسه میانگین ضرایب برازشی مدل‌های نفوذ مورد بررسی در این پژوهش به تفکیک کاربری اراضی با استفاده از آزمون t مستقل در جدول ٤ ارائه شده است. نتایج مقایسه میانگین ضرایب مدل‌ها بیانگر آن است که هر سه ضریب مدل (c، m و a) مدل هورتون در کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری باهم نداشتند. ضریب k مدل گرین- آمپت بین کاربری زراعی و مرتع غیرمعنی‌دار و در بین کاربری زراعی و مرتع با کاربری باغ تفاوت معنی‌داری داشتند. ولی ضریب G بین کاربری‌های متفاوت تفاوت معنی‌داری نداشت. در مدل سرویس حفاظت خاک آمریکا نیز روندی شبیه مدل گرین- آمپت مشاهده شد. ضرایب S و A مدل فیلیپ فقط

بین کاربری زراعی و باغ معنی‌داری بود. ضریب a مدل کوستیاکوف نیز بین کاربری‌های متفاوت معنی‌دار نشد، اما ضریب b مدل فوق بین کاربری زراعی با دو کاربری دیگر معنی‌داری بود. اما در مدل کوستیاکوف- لوییز که به‌عنوان کارآمدترین مدل نسبت به مدل‌های دیگر شناخته شد (جدول ۳)، مقادیر برازشی ضریب a در بین کاربری‌های مختلف معنی‌داری نبود و مقادیر ضریب b تفاوت معنی‌داری بین کاربری مرتع با دو کاربری دیگر مشاهده گردید. هم‌چنین در ضریب k نیز بین هر دو کاربری زراعی و مرتع با کاربری باغ تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ٤). به‌طور کلی، به غیر از مدل هورتون در بقیه مدل‌ها، در اکثر ضرایب تفاوت معنی‌داری بین کاربری‌های زراعی و مرتع (به‌خصوص زراعی) با کاربری باغ وجود داشت.

جدول ٤- مقایسه میانگین ضرایب مدل نفوذ مورد استفاده در این پژوهش به تفکیک هر کاربری به‌وسیله آزمون t مستقل.

Table 4. Mean comparison of infiltration model coefficient used in this study in any land use by t test.

مدل Model	ضرایب مدل Model coefficient	نام کاربری Land use name		
		زراعی Agronomy	باغ Garden	مرتع Grassland
گرین- امپت Green-Ampt	k	0.112(a)	0.027(b)	0.079(a)
	G	6.937(a)	4.688(a)	5.314(a)
فیلیپ Philip	S	0.091(a)	0.023(b)	0.086(ab)
	A	0.928(a)	0.360(b)	0.694(ab)
هورتون Horton	c	0.101(a)	0.080(a)	0.110(a)
	m	0.136(a)	0.120(a)	0.087(a)
	a	3.977(a)	4.065(a)	3.963(a)
SCS	a	0.612(a)	0.159(b)	0.417(a)
	b	0.755(a)	0.859(a)	0.767(a)
کوستیاکوف Kostiakov	a	0.652(a)	0.677(a)	0.693(a)
	b	0.796(a)	0.296(b)	0.564(b)
کوستیاکوف- لوییز Kostiakov-Lewis	a	0.054(a)	0.021(a)	0.082(a)
	b	0.509(a)	0.486(ab)	0.422(b)
	k	0.966(a)	0.375(b)	0.870(a)

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ گرین- آمپت، فیلیپ، هورتون، SCS، کوستیاکوف و کوستیاکوف- لوییز نشان داد که در کاربری‌های مختلف، عملکردی متفاوت داشتند. در مقایسه با سایر مدل‌ها، نحوه برآورد نفوذ تجمعی در مدل کوستیاکوف- لوییز از روند پایدارتری برخوردار بوده و در هر سه کاربری دارای رتبه نخست ارزیابی گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده از ارزیابی کلی برآورد نفوذ تجمعی توسط مدل‌های نفوذ مورد

بررسی در این پژوهش، مدل‌های کوستیاکوف- لـوییز و هورتون به‌ترتیب در رتبه‌های اول و دوم، مدل‌هـای گرین- آمپت و سرویس حفاظت خاک آمریکا هر دو رتبه سوم و مدل‌های کوستیاکوف و فیلیپ بـه‌ترتیـب در رتبه‌هـای چهـارم و پـنجم ارزیـابی قـرار گرفتنـد. بنابراین، می‌توان گفت از بین مـدل‌هـای نفـوذ مـورد بررسی، مدل کوستیاکوف- لوییز بهتـرین مـدل بـرای بیان کمی فرآیند نفوذ آب به خاک است.

منابع

1.Arab, A.I., Mudiare, O.J., Oyebode, M.A., and Idris, U.D. 2014. Performance evaluation of selected infiltration equations for irrigated (FADAMA) soils in Southern Kaduna Plain, Nigeria. Bas. Res. J. Soil Environ. Sci. 2: 4. 1-18.

2.Bybordi, M. 1993. Soil physics. Tehran Univ. Press, 671p.

3.Dagadu, J.S., and Nimbalkar, P.T. 2012. Infiltration Studies of Different Soils under Different Soil Conditions and Comparison of Infiltration Models with Field Data. Inter. J. Adv. Engin. Technol. 3: 2. 154-157.

4.Fakher Nikcheh, A., Vafakhah, M., and Sadeghi, S.H.R. 2014. Evaluation of different cumulative infiltration model performance in different land use and soil texture, using rainfall simulator. J. Water Soil Know. 3: 1. 183-193.

5.Fakuri, T., Emami, H., and Ghahreman, B. 2013. Estimation of cumulative penetration of water into the soil using the particle size distribution in different agricultural land uses. J. Water Res. Agric. 26: 4. 379-390.

6.Gee, G.H., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P 383-411, In: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis. Physical Properties. SSSA, Madison, WI.

7.Ghorbani Dashtaki, S., Homaee, M., Mahdian, M., and Kouchakzadeh, M. 2009. Site-dependence performance of infiltration models. Water Resource Management. 23: 2777-2790.

8.Ghorbani Dashtaki, S., Homaee, M., and Mahdian, M.H. 2010. Effect of Land Use Change on Spatial Variability of Infiltration Parameters. Iran. J. Irrig. Drain. 4: 193-205.

9.Green, W.H., and Ampt, C.A. 1911. Studies on soil physics, I. Flow of air and water through soils. J. Agric. Sci. 4: 1-24.

10.Haverkamp, R., Rendon, L., and Vachaud, G. 1987. Infiltration equations and their applicability for predictive use. P 142-152, In: Y.S. Fok (Ed.), Infiltration Development and Application. Honolulu, Hawaii.

11.Horton, R.E. 1940. Approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Sci. Soc. Am. J. 5: 339-417.

12.Karami, B., Golabi, M., and Dhumal, K.N. 2012. Determination Coefficients of Infiltration Equations: Case Study of Shavoor Plain in Khuzestan Province. Inter. J. Appl. Engin. Res. 7: 1. 55.69.

13.Kavoosi, S.M., Vafakhah, M., and Mahdian, M.H. 2013. Evaluation of some equations of infiltration of water into soil in different land use, Kojoor catchments. J. Irrig. Water Engin. 4: 13. 1-13.

14.Kostiakov, A.V. 1932. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamics point of view for purposes of amelioration. Transactions of the Sixth Commission of International Society of Soil Science, part A, Pp: 17-21.

15.Larsson, M., and Eliasson, S. 2006. The Influence of Land-Use Change, Root Abundance and Macrospores on Saturated Infiltration Rate-a Field Study on Western Java, Indonesia. Water Resources Engineering (http://www.uppsatser.se/uppsats_7/7c6b162347.php).

16.Lewis, M.R., and Milne, W.E. 1938. Analysis of border irrigation. Agric. Eng. 19: 6. 267-272.

17. Naderianfar, M., Ghahreman, B., Sajadi, S.K.A., Faalian, A., and Mohamadi, J. 2013. Scaling and surveying spatial variations of water infiltration in to soil on basin scale in Marghak of Shahrekord. J. Soil Res. 27: 4. 605-618.
18. Parchami Araghi, F., Mirlatifi, S.M., Ghorbani Dashtaki, S., and Mahdian, M.H. 2010. Evaluating Some Infiltration Models under Different Soil Texture Classes and Land Uses. Iran. J. Irrig. Drain. 4: 193-205.
19. Parlange, J.Y., and Haverkamp, R. 1989. Infiltration and Ponding Time. P 95-126, In: H.J. Morel-Seytoux (Ed.), Unnsaturatrd flow in hydrologic modeling, theory and practice. Kluwer Academic, Boston.
20. Philip, J.R. 1957. The theory of infiltration. 1. The infiltration equation and its solution. Soil Science. 83: 345-357.
21. Porhemmat, J., and Nazaripooya, H. 2016. An investigation and evaluation of infiltration models in rangeland soil cover, case study: Gonbad basin in Hamedan Province. Watershed Engineering and Management. 7: 4. 458-468.
22. Rawls, W.J., Ahuja, L.R., Brakensiek, D.L., and Shirmohammadi, A. 1993. Infiltration and soil water movement. P 5.21-5.23, In: D.R. Maidment (Ed.), Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, New York.
23. Sonaje, N.P. 2013. Modeling of Infiltration Process-A Review. Ind. J. Appl. Res. 3: 9. 226-230.
24. US Department of Agriculture, Natural Resources and Conservation Service. 1974. National Engineering Handbook. Section 15. Border Irrigation. National Technical Information Service, Washington, DC, Chapter 4.
25. Zolfaghari, A.A., Mirzaee, S., and Gorgi, M. 2012. Comparison of different models for estimating cumulative infiltration. Inter. J. Soil Sci. 7: 3. 108-115.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 7(1), 2017
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of land use on the performance of selected soil water infiltration models

***M.R. Sadikhani[1] and A. Sohrabi[2]**
[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Lorestan University,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Lorestan University
Received: 01/16/2016; Accepted: 09/06/2016

Abstract
Background and Objectives: Soil water infiltration is one of the key properties for designing irrigation systems, hydrological studies, water resources management, drainage projects and soil conservation practices in watershed scale. Also, an accuracy assessment from infiltration amount and stored water in the root zone plant considering the time is great important in the design and planning irrigation. For this purpose, researchers drift suitable model for quantity expression for infiltration water to soil through the past century. The importance of infiltration process enforced the researchers to develop several models. In this study, the performance of Green and Ampt, Philip, Horton, Soil Conservation Service (SCS), Kostiakov and Kostiakov-Lewis infiltration models were evaluated under different land uses.
Materials and Methods: The soils of studied area are classified as Aridisol, Inseptisol and Entisol and are in the land use of including cultivation, gardens and grassland. The number of measured infiltration in land use of cultivation, garden and grassland were 37, 25 and 20 types of soil, respectively. For this purpose, the infiltration data were obtained by double rings method from 82 point of in different region of Marvdasht, Fars province. The parameters of these models were then obtained, using least square optimization method. In order to evaluate the accuracy of the models, the root mean square error (RMSE), standard deviation of RMSEs (SDRMSED) and R^2 statistics were calculated.
Results and Discussions: The results showed that compared with other models, estimation of the cumulative infiltration Kostiakov-Lewis model has been consistent trend in all three land use ranked first (R^2=0.997, RMSE=0.206 and SDRMSED=0.201). Considering obtained from total evaluation, estimation of cumulative infiltration by infiltration models in this study were as Kostiakov-Lewis and Horton models in first and second rank, Green-Ampt and SCS model in third rank and Kostiakov and Philip in fourth and fifth rank, respectively. So, we can say that the infiltration models examined, Model Kostiakov-Lewis is the best model for quantifying the process of infiltration. One reason for the excellence of Kostiakov-Louis model was great number of parameters than SCS, Kostiakov, Green-Ampt and Philip models and the fitting method is to determine the parameters mentioned models. This feature makes more flexible of this model than other model.

Keywords: Double ring, Infiltration models, Landuse, Performance, Marvdasht

* Corresponding Author; Email: mahmoodrezasadikhani@yahoo.com