

مقایسه مدل های نفوذ و تعیین بهترین تخمین گرهای نفوذ به منظور اعمال مدیریت بهینه در اراضی مرتع و جنگل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز داود رشید، استان لرستان)

مهران لشنی زند^۱، علیرضا سپهوند^{۲*}، مجید طایی سمیرمی^۲
تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

چکیده

نفوذ آب به داخل خاک یکی از فرآیندهای است که امروزه بیشتر مد نظر پژوهشگران می باشد و نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت ایفا می کند. اهمیت پدیده نفوذ، پژوهشگران را بر آن داشته تا همواره در پی ارائه مدلی مناسب برای بیان کمی نفوذ باشند. در سال های اخیر توسعه مدل های شبیه سازی فرآیندهای مرتبط با خاک به طور گسترده ای رو به افزایش می باشد، همچنین این مدل ها بیشتر برای درک بهتر فرآیندهای مرتبط با خاک طراحی شده اند و ابزاری برای ارزیابی مشکلات محیطی و کشاورزی می باشند. بدین منظور این پژوهش با هدف تعیین بهترین مدل برآورد نفوذ در کاربری های اراضی مرتع و جنگل در حوزه آبخیز داوود رشید واقع در استان لرستان برنامه ریزی شد. در این تحقیق اندازه گیری نفوذ با استفاده از روش استوانه های مضاعف صورت گرفته و مدل های کوستیاکوف، فیلیپ، هورتون، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و گرین-آمپت نیز جهت تخمین نفوذ مورد توجه قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که در کاربری مرتع تمامی پارامترهای نفوذ از جمله نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ نهایی، متوسط سرعت نفوذ، زمان تا لحظه تثبیت نفوذ و شیب کاهش نفوذ کمتر از کاربری جنگل بوده است. همچنین نتایج این تحقیق در بحث مقایسه مدل ها نشان داد که در کاربری مرتع، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا با ضریب تبیین ۰/۹۶۷ و در کاربری جنگل، مدل فیلیپ با دارا بودن ضریب تبیین ۰/۹۹۳ به عنوان برترین مدل ها در دو کاربری انتخاب شدند، علاوه بر ضریب تبیین، ضریب کارایی هر دو مدل فوق از بقیه مدل ها بیشتر بود و در هر دو کاربری مرتع و جنگل مدل هورتون به عنوان ضعیف ترین مدل انتخاب شد.

واژه های کلیدی: حوزه آبخیز داوود رشید، نفوذ پذیری، کاربری اراضی، مدل های نفوذ

^۱ عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس

* نویسنده مسؤل: Sepahvand1982@yahoo.com

مقدمه

نفوذ آب به داخل خاک به‌عنوان فرآیند اولیه‌ی ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیر اشباع خاک می‌باشد. این فرآیند یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی است. کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت حوزه‌های آبخیز از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (۲۴ و ۲) زیرا با دانستن مقدار نفوذ در هر حوزه می‌توان، مقدار آب خروجی از حوزه را با دقت بیشتری تخمین زد و از خسارت‌های احتمالی وارده در زمان وقوع سیل در مناطق سیل‌خیز جلوگیری کرد (۲۳ و ۱۰) علاوه بر این، رخداد بارش موجب افزایش سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، جاری شدن آب در سطح زمین، فرسایش و افزایش محتوای رطوبتی خاک می‌شود، در صورتی که تلفات بارش در اختیار باشد، می‌توان پارمترهای فوق را محاسبه کرد (۱۱). به‌طور کلی نفوذ آب به داخل خاک نقش مهمی در مبحث هیدرولوژی ایفا می‌کند (۱۶). وارد شدن آب به داخل خاک در نتیجه تأثیر توأم نیروهای ثقلی و موئینگی صورت می‌گیرد. نیروی ثقل فقط در جهت قائم عمل می‌کند اما نیروی موئینگی در ابتدا که خاک خشک بوده و منافذ موئین خالی از آب است هم در جهت عمودی و هم در جهت افقی عمل می‌کند ولی بعد از پر شدن منافذ خاک و اشباع شدن خاک تنها نیروی ثقل عمل کرده و جریان نفوذ عمدتاً عمودی است. به‌همین دلیل است که سرعت نفوذ در ابتدا سریع ولی و سپس پس از گذشت مدتی تقلیل یافته و به مقدار ثابتی که فقط نتیجه عمل نیروی ثقل است، می‌رسد

(۶). مقدار آبی که در یک دوره زمانی مشخص در خاک نفوذ می‌کند نفوذ تجمعی و میانگین سرعت وارد شدن آب به داخل خاک را طی یک دوره زمانی، متوسط سرعت نفوذ و سرعت نفوذ آب به داخل خاک را در یک لحظه معین از زمان را سرعت نفوذ لحظه‌ای گویند (۳ و ۹). آب‌های سطحی بعد از نفوذ به داخل خاک، آب زیرزمینی گفته می‌شوند. آب زیر-زمینی می‌تواند مسافت‌های طولانی را در طول زمان طی کند و دوباره به سطح زمین برگردد و جزئی از آب پایه رودخانه محسوب شود (۲۰). نفوذ آب به داخل خاک یکی از فرآیندهای است که امروزه بیشتر مد نظر پژوهشگران می‌باشد و نقش مهمی در چرخه‌ی آبی طبیعت ایفا می‌کند. اهمیت پدیده‌ی نفوذ، پژوهشگران را بر آن داشته تا همواره در پی ارائه مدلی مناسب برای بیان کمی نفوذ باشند (۲). در سال‌های اخیر توسعه مدل‌های شبیه-سازی فرآیندهای مرتبط با خاک به‌طور گسترده‌ای رو به افزایش می‌باشد، از این مدل‌ها بیشتر برای درک بهتر فرآیندهای مرتبط با خاک طراحی شده‌اند و ابزاری برای ارزیابی مشکلات محیطی و کشاورزی می‌باشند (۲۶). ارائه یک مدل جهت تعیین متوسط سرعت نفوذ یک منطقه از نظر هیدرولوژیکی حائز اهمیت می‌باشد. برای تعیین متوسط نفوذ یک منطقه معادله‌های زیادی معرفی شده که از آن جمله می‌توان به معادله‌های گرین-آمپت، هورتون، فلیپ، ... اشاره داشت. این معادلات در صورتی که خاک منطقه همگن باشد نتیجه مطلوبی ارائه می‌کنند. اما این خصوصیات به-ندرت در یک منطقه مشاهده می‌شود زیرا در

گیری نفوذ با استفاده از روش استوانه‌های مضاعف صورت گرفت و برای مقایسه مدل‌ها از معیارهای سنجش خطا شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب کارایی (EF) و ضریب تبیین (R^2) استفاده کردند. نتایج نمایانگر آنست که در مجموع مدل کوستیاکوف دقیق‌ترین برآورد‌ها، و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا ضعیف‌ترین برآورد‌ها را ارائه می‌دهند. Esteves و همکاران (۱۴) به مدل‌سازی رواناب سطحی و نفوذ برای یک پلات کوچک پرداختند. هدف از انجام تحقیق ارائه یک مدل دو بعدی با طراحی متفاوت برای رواناب سطحی و فرآیند نفوذپذیری بود. آن‌ها در این تحقیق شیب و پارامترهای هیدرولیکی خاک را مد نظر قرار دادند. در این تحقیق نتایج مدل تهیه شده با داده‌های مشاهداتی مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل مذکور قادر است با دقت بالایی رواناب سطحی و فرآیند نفوذ را مدل‌سازی کند، لذا هدف از انجام این تحقیق مقایسه و تعیین برترین مدل برای اندازه‌گیری نفوذ در کاربری مرتع و جنگل می‌باشد.

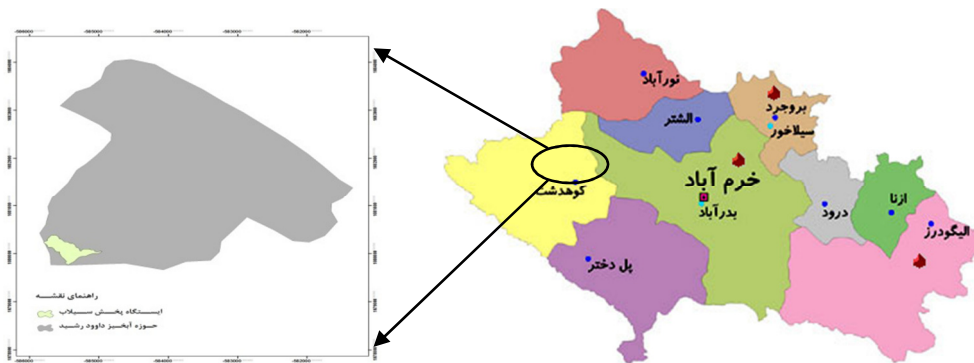
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی $47^{\circ}43'53''$ تا $47^{\circ}51'38''$ طول شرقی و $33^{\circ}32'44''$ تا $33^{\circ}35'39''$ عرض شمالی، حوزه آبخیز داوود رشید نام دارد که مطابق شکل ۱ در غرب استان لرستان واقع شده است. دشت کوه‌دشت با مساحتی حدود ۴۵۶ کیلومترمربع واقع در ۹۰ کیلومتری غرب خرم‌آباد یکی از قطب‌های مهم کشاورزی

بین پارامترهای نفوذ، هدایت هیدرولیکی به‌شدت تحت تأثیر تغییرات مکانی است. عموماً مدل‌های نفوذ به مدل‌های فیزیکی، تجربی و نیمه تجربی تقسیم می‌شوند. مدل‌های فیزیکی با استفاده از قوانین و روابط اثبات شده مانند قانون بقای جرم و قانون بقای انرژی و تلفیق آن‌ها و دستیابی به یک‌سری معادلات ریاضی مانند فیلپ و گرین-آمیت به دست آمده‌اند. مهم‌ترین حسن این معادلات که بر اساس قوانین فیزیکی وضع شده‌اند و با دانستن برخی خصوصیات فیزیکی خاک معادله نفوذ قابل تعیین است. شیوه دوم استفاده از روابط تجربی از قبیل کوستیاکوف و هورتون است. تأثیر گرفتن از شرایط زمانی، مکانی و نارسایی پارامترهای معادلات در تبیین مفاهیم فیزیکی از نقص‌های عمده این‌گونه معادلات می‌باشد (۸ و ۲۲). در مقایسه بین مدل‌های فیزیکی و تجربی مشخص شده که معادلات فیزیکی جزئیات نفوذ را نسبت به معادلات تجربی بهتر نشان می‌دهند (۲۲). در زمینه فرآیند نفوذ-پذیری در ایران و سایر نقاط جهان تحقیقات زیادی انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد. سپهوند و همکاران (۳) به ارزیابی حساسیت مدل‌های نفوذ نسبت به تغییرپذیری رطوبت خاک پرداختند. آن‌ها در این تحقیق به تعیین حساسیت مدل‌های نفوذ کوستیاکوف، فیلپ، هورتون، سازمان حفاظت خاک آمریکا و گرین-آمیت اصلاح شده نسبت به سطوح مختلف رطوبتی پرداختند. در این تحقیق با ایجاد چهار سطح رطوبتی شاهد، ۵، ۱۰ و ۱۵ لیتر در کرت‌هایی به ابعاد یک مترمربع، اندازه-

مدیرانه‌ای با تابستان خشک و زمستان‌های مرطوب و متوسط بارندگی سالانه ۵۵۷/۴ میلی‌متر می‌باشد (۱).

استان لرستان می‌باشد که در پایین دست حوزه آبخیز داوود رشید قرار دارد. این منطقه از نظر تامین آب مورد نیاز، کاملاً متکی به منابع آب زیرزمینی می‌باشد و دارای اقلیم



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شیبی بوده که مناسب اندازه‌گیری نفوذ نباشند، لذا با پیمایش صحرائی و دید کارشناسی در منطقه، نقاطی با شیب مناسب انتخاب شدند.

از طرفی خصوصیات مختلف تأثیر گذار خاک بر میزان نفوذ، نظیر جرم مخصوص ظاهری، رطوبت جرمی و رطوبت حجمی خاک در محدوده مورد بررسی (کاربری مرتع و جنگل) اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ آورده شده است.

روش انجام تحقیق

در ابتدا نقشه کاربری اراضی منطقه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS) تهیه شد. بعد از تهیه نقشه مذکور مشخص شد که منطقه دارای سه کاربری کشاورزی و مرتع در ارتفاعات پایین دست و جنگل در ارتفاعات بالا می‌باشد. با توجه به هدف تحقیق قسمت‌های از حوزه که دارای کاربری مرتع و جنگل بود در محیط نرم افزار GIS از بقیه قسمت‌های نقشه جدا شد. در ادامه با توجه به روش‌های نمونه‌برداری یکنواخت، تیپ‌بندی و تصادفی (۴)، روش نمونه‌برداری تصادفی برای تعیین محل‌های اندازه‌گیری نفوذ مد نظر قرار گرفت. انتخاب محل‌های نمونه‌برداری به این ترتیب بود که نقاط نمونه‌برداری، ابتدا در روی نقشه به صورت تصادفی انتخاب شدند. سپس با توجه به این که ممکن بود نقاط انتخاب شده دارای

^۱ Geographic Information System

جدول ۱- خصوصیات مختلف تأثیر گذار خاک بر میزان نفوذ

کاربری اراضی	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	رطوبت جرمی (درصد)	رطوبت حجمی خاک (درصد)
مرتع	۱/۲۷	۲/۱۹	۲/۸۶
جنگل	۱/۳۲	۱/۹۲	۲/۵۸

کوستیاکوف، گرین-آمپت اصلاح شده، هورتون، SCS و فیلیپ، ضرایب مربوط به نفوذ محاسبه شد. در نهایت مدلی که با توجه به معیارهای ارزیابی، بهترین جواب را ارائه داد به عنوان مدل برتر در هر کاربری انتخاب شد.

بعد از مشخص شدن محل های نمونه برداری، از استوانه های مضاعف به دلیل معمول بودن شیوه و تأمین اطلاعات مفید در صورت کاربرد صحیح (۲۷) جهت اندازه گیری نفوذ به صورت شکل ۲ استفاده شد.

مدل های نفوذ

مدل هورتون: ساده ترین و کاربردی ترین معادله نفوذ، معادله هورتون می باشد. هورتون در سال ۱۹۴۰ پس از مشاهده های فراوان درباره چگونگی نفوذ آب در خاک به این نتیجه رسید که ظرفیت نفوذ خاک با افزایش زمان به شدت و تقریباً به صورت توانی نسبت به زمان کاهش می یابد، به طوری که در ابتدای بارندگی ظرفیت آن حداکثر f_0 و در نهایت به مقدار ثابت f_c می رسد. معادله هورتون به صورت رابطه ۱ بیان می گردد (۷ و ۵).

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (1)$$

در این رابطه f_t نفوذ در زمان t از شروع بارندگی بر حسب میلی متر بر ساعت، f_c شدت نفوذ نهایی بر حسب میلی متر بر ساعت (وقتی که نفوذ نسبتاً ثابت شده باشد)، f_0 شدت نفوذ اولیه بر حسب میلی متر بر ساعت و t زمان از شروع بارندگی بر حسب ساعت و k ثابت هورتون است که بستگی به کاربری اراضی و جنس خاک دارد.



شکل ۲- استوانه های مضاعف نصب شده در محل تحقیق

نتایج حاصل از تحقیق به دو صورت ترسیم نمودار و مقایسه بین مقادیر واقعی و تخمین حاصل از مدل های مختلف نفوذ ارائه گردید. جهت بررسی نموداری نتایج، ابتدا با تهیه بانک اطلاعاتی در نرم افزار EXCEL 2007 یک پایه زمانی مشترک برای تمامی اندازه گیری ها لحاظ گردید. بدین ترتیب پایه زمانی ۵۰ دقیقه با توجه به مدت زمان ثابت شدن سرعت نفوذ انتخاب شد و نمودارهای آهنگ تغییرات سرعت نفوذ نسبت به زمان ترسیم گردید. در ادامه تحقیق با استفاده از مدل های

$$i(t) = \frac{1}{2} S t^{-\frac{1}{2}} + K \quad (5)$$

در این رابطه K ضریب ثابت و تابع هدایت هیدرولیکی خاک بوده و S ضریب جذبی خاک نام دارد. ضرایب K و S از طریق برازش بهترین نمودار به داده‌های مشاهداتی به دست می‌آیند (۱۳).

مدل کوستیاکوف: کوستیاکوف در سال ۱۹۳۲ رابطه تجربی ۶ را برای تعیین مقدار نفوذ تجمعی پیشنهاد کرد. اگر از این رابطه مشتق گرفته شود به صورت رابطه ۷ بیان می‌گردد و برای محاسبه نفوذ لحظه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳).

$$i(t) = c t^{-a} \quad (6)$$

$$I = \frac{c}{1-a} t^{1-a} \quad (7)$$

در این روابط c و a ضرایب مختلفی برای خاک‌های مختلف بوده و مقدار c و a به ترتیب بزرگتر از صفر و بین صفر تا یک می‌باشد و به روش تجربی تعیین می‌شود، t زمان و I میزان نفوذ در زمان t و I نفوذ تجمعی است (۷).

مدل گرین-آمپت: در سال ۱۹۱۱ گرین و آمپت یکی از اولین معادله‌های نفوذ را برای شرایط بارندگی یکنواخت ارائه دادند (۷). اساس این رابطه از معادله ریچاردز گرفته شده است (۱۲ و ۲۲) که به صورت رابطه ۸ بیان می‌شود:

$$I = K(H_o + S_w + L) / L \quad (8)$$

در این رابطه K ضریب هدایت هیدرولیکی خاک، H_o ارتفاع آب انباشته شده در سطح خاک، S_w پتانسیل ماتریک خاک در جبهه رطوبتی، L فاصله سطح خاک تا جبهه

مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا^۱

(SCS): در سال ۱۹۸۹ کارشناسان سازمان حفاظت خاک آمریکا معادله ساده‌ای برای تعیین مقدار نفوذ تجمعی آب به داخل خاک ارائه نمودند، که نهایتاً منجر به روشی در محاسبه نفوذ گردید و به مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا معروف شد (۷) و به صورت رابطه ۲ ارائه گردید:

$$i(t) = a t^b + c \quad (2)$$

در این رابطه، i مقدار نفوذ تجمعی از زمان شروع نفوذ (سانتی‌متر)، c عدد ثابت و برابر ۰/۶۹۸۵، t زمان از لحظه شروع نفوذ (دقیقه) و ضرایب a و b تابعی از شماره منحنی نفوذ بوده که از جدول استاندارد SCS استخراج می‌گردد (۷ و ۹).

مدل فیلیپ: فیلیپ در سال ۱۹۵۷ معادله ریچاردز را برای جریان غیر اشباع به صورت سری توابع توانی حل نمود و به صورت رابطه ۳ ارائه کرد:

$$I(t) = S t^{\frac{1}{2}} + (K_2 + K_0) t + K_3 t^{\frac{3}{2}} + K_4 t^2 + \dots + K_n t^{\frac{n}{2}} \quad (3)$$

در این رابطه n از صفر تا بی‌نهایت تغییر می‌کند. در عمل معادله ساده شده فیلیپ برای تعیین نفوذ تجمعی به صورت رابطه ۴ به کار می‌رود:

$$I(t) = S t^{\frac{1}{2}} + K t \quad (4)$$

اگر از رابطه ۴ مشتق گرفته شود به صورت رابطه ۵ بیان می‌گردد و برای محاسبه نفوذ لحظه‌ای از آن استفاده می‌گردد (۳).

¹ Soil Conservation Service

ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی مبین اختلاف کلی بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر تخمینی بوده و مقدار کارایی یا راندمان مدل در این حالت به یک نزدیک می شود. مقدار کارایی مدل نیز نشان دهنده صحت برازش داده ها می باشد و از منفی بی نهایت در بدترین حالت، تا یک در زمان برازش کامل داده ها تغییر می کند (۳). از بین مدل های مذکور مدلی که از ضریب کاری بالاتر، درصد خطای نسبی و ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به صفر و ضریب تبیین نزدیک به یک برخوردار باشد به عنوان مناسب ترین مدل انتخاب شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (10)$$

$$RE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{O_i - P_i}{O_i} \quad (11)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

در روابط فوق، P_i مقدار برآورد شده، O_i مقدار مشاهده شده، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده و N تعداد داده های اندازه گیری نفوذ است.

نتایج

در ابتدا با توجه به متفاوت بودن ویژگی های فرآیند نفوذ پذیری، اقدام به محاسبه ویژگی هایی از قبیل نفوذ تجمعی، حداکثر سرعت نفوذ، متوسط سرعت نفوذ، سرعت نفوذ نهایی، متوسط نرخ کاهش نفوذ و زمان تا لحظه تثبیت نفوذ نموده که نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۲ آمده است.

رطوبتی و I شدت نفوذ می باشد (۱۴). به دلیل اینکه مدل گرین-آمپت قادر نبود طی آزمایش هایی پدیده نفوذ را به درستی در خاک های غیر همگن شبیه سازی کند (۱۲)، و بالا بودن ریشه میانگین مربعات خطا، این مدل بعداً در سال ۱۹۸۰ توسط Alfara و Hachum به صورت رابطه ۹ اصلاح شد و مدل اصلاح شده گرین-آمپت را برای تعیین نفوذ در خاک هایی با لایه بندی مختلف به کار بردند (۱۲ و ۲۲).

$$I = \frac{A}{i} + B \quad (9)$$

در این معادله I سرعت نفوذ، i نفوذ تجمعی و A و B ضرایبی هستند که از روی آزمایش نفوذ به دست می آیند. رابطه گرین-آمپت خیلی ساده است و پارامترهای آن را می توان به سادگی از روی خصوصیات فیزیکی خاک به دست آورد (۷ و ۱۷). بنابراین مدل اصلاح شده گرین-آمپت به وفور در تحقیقات هیدرولوژی هم چون مدل SWAT (۱۲ و ۱۵) و مدل های فرسایش مثل WEPP (۱۵) کاربرد دارد. به همین دلیل در این تحقیق به جای مدل گرین-آمپت از مدل گرین-آمپت اصلاح شده استفاده شد.

سپس برای ارزیابی دقت مدل های نفوذ و انتخاب مدل برتر در کاربری مرتع و جنگل از پارامترهای آماری خطای نسبی^۱ (RE)، ضریب کارایی مدل^۲ (EF)، ریشه میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE) و ضریب تبیین^۴ استفاده شد.

¹ Relative Error

² Modeling Efficiency

³ Root Mean Square Error

⁴ Descriptive Coefficient

مطابق مقادیر حاصله از جدول ۲ بیشترین نفوذ تجمعی با میزان ۹/۵ سانتی متر متعلق به کاربری جنگل می باشد. همچنین حداکثر سرعت نفوذ با مقدار ۳۱/۵۲ سانتی متر بر ساعت متعلق به کاربری جنگل می باشد. در ادامه با استفاده از رابطه ۱۳ اقدام به محاسبه متوسط سرعت نفوذ نموده که بر این اساس بیشترین متوسط سرعت نفوذ در کاربری جنگل با میزان ۱۱/۴ سانتی متر بر ساعت مشاهده گردید.

$$\bar{I} = \frac{CF}{T} \quad (13)$$

که در این رابطه \bar{I} متوسط سرعت نفوذ، CF مقدار نفوذ تجمعی در کل مدت زمان اندازه گیری نفوذ و T کل زمان اندازه گیری (۵۰ دقیقه) محسوب می گردد. در ادامه پارامتر

سرعت نفوذ نهایی مورد محاسبه قرار گرفت که مطابق این محاسبات مقدار آن در هر دو کاربری مرتع و جنگل محاسبه گردید که این پارامتر برای کاربری مرتع و جنگل به ترتیب برابر ۸/۸ و ۸/۴ به دست آمد. در ادامه زمان تا لحظه تثبیت نفوذ محاسبه شد که این زمان در کاربری جنگل برابر ۰/۵۸۳۴ و در کاربری مرتع برابر ۰/۵ ساعت برآورد گردید. متوسط شیب کاهش نفوذ در تعیین اثرات کاربری بر روند تغییرات سرعت نفوذ در زمان های مختلف حائز اهمیت بوده که با توجه به این مساله این پارامتر با استفاده از رابطه ۱۴ مورد محاسبه قرار گرفت.

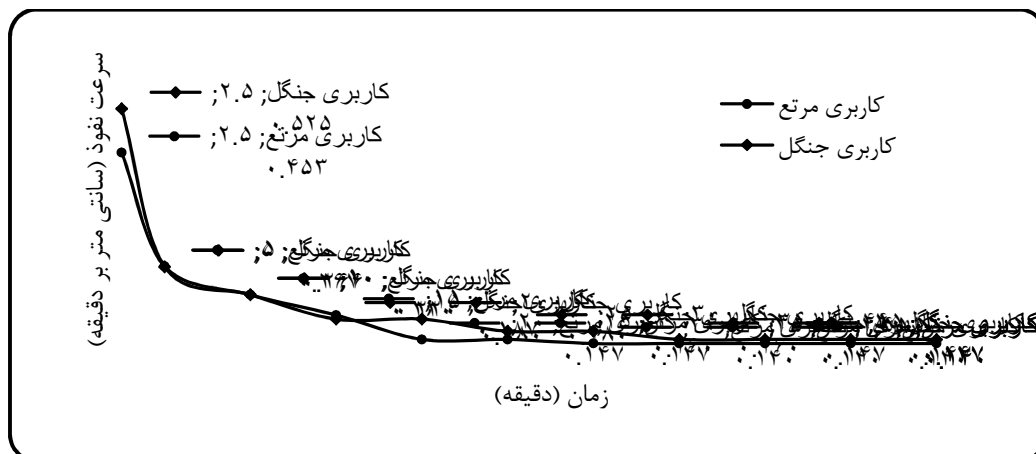
جدول ۲- ویژگی های مختلف مورد اندازه گیری نفوذ

کاربری	نفوذ تجمعی (سانتی متر) تا زمان ۵۰ دقیقه	حداکثر سرعت نفوذ (سانتی متر بر ساعت)	متوسط سرعت نفوذ (سانتی متر بر ساعت)	سرعت نفوذ نهایی (سانتی متر بر ساعت)	زمان تا لحظه تثبیت نفوذ (ساعت)	شیب کاهش نفوذ (سانتی متر بر مجذور ساعت)
مرتع	۸/۸	۲۷/۲	۱۰/۵۶	۸/۴	۰/۵	۲۲/۵۶
جنگل	۹/۵	۳۱/۵۲	۱۱/۴	۸/۸	۰/۵۸۳	۲۷/۲۷

$$I_r = \frac{I_{max} - I_{min}}{T} \quad (14)$$

در این رابطه I_r متوسط شیب کاهش نفوذ نسبت به زمان (سانتی متر بر مجذور ساعت)، I_{min} و I_{max} به ترتیب حداکثر و حداقل سرعت نفوذ (سانتی متر بر ساعت) و T کل مدت زمان اندازه گیری نفوذ بر حسب ساعت است. با توجه به این رابطه، پارامتر مورد نظر

برای کاربری مرتع و جنگل به ترتیب برابر ۲۲/۵۶ و ۲۷/۲۷ سانتی متر بر مجذور ساعت به دست آمد. برای مقایسه کلی تغییرات سرعت نفوذ نسبت به زمان اقدام به ترسیم نمودار مربوط به نفوذ آب در هر دو کاربری مورد مطالعه نموده که نتایج حاصله در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳- آهنگ تغییرات سرعت نفوذ در هر دو کاربری

در ادامه برای مقایسه کاربری مرتع و جنگل و انتخاب بهترین مدل اندازه گیری نفوذ اقدام به برآورد معیارهای سنجش خطا (رابطه های ۱۰

تا ۱۲) گردید که نتایج مربوطه در جدول های ۳ و ۴ آورده شده است.

جدول ۳- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل ها در کاربری مرتع

نوع مدل	ضریب کارایی	ریشه میانگین مربعات خطا	درصد خطای نسبی	ضریب تبیین
کوستیاکوف	۰/۹۲۷	۱/۱۶۰	-۰/۹۲۹	۰/۹۶۵
گرین- آمپت اصلاح شده	۰/۶۵۸	۱۱/۵۲	-۴۴/۴۹	۰/۶۵۸
هورتون	۰/۵۳۸	۱۳/۴۰	-۵/۹۷	۰/۶۰۵
سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۹۵۰	۰/۹۵۳	۰/۵۴۴	۰/۹۶۷
فیلیپ	۰/۹۴۷	۰/۹۸۹	-۰/۸۹۱	۰/۹۵۶

جدول ۴ معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل ها در کاربری جنگل

نوع مدل	ضریب کارایی	ریشه میانگین مربعات خطا	درصد خطای نسبی	ضریب تبیین
کوستیاکوف	۰/۹۸۰	۰/۳۵۰	۰/۲۰۸	۰/۹۸۵
گرین- آمپت اصلاح شده	۰/۹۲۶	۶/۷۸۴	-۲/۹۲۸	۰/۹۲۷
هورتون	۰/۸۲۶	۱۰/۴۳	-۳/۵۶۵	۰/۸۸۷
سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۹۴۱	۰/۶۰۸	-۰/۱۲۳	۰/۹۶۶
فیلیپ	۰/۹۴۲	۰/۶۰۲	-۲/۰۶۵	۰/۹۹۳

تبیین برابر ۰/۹۵ و ۰/۹۶۷ برخوردار بوده و همچنین دارای ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای نسبی به ترتیب برابر ۰/۹۵۳ و ۰/۵۴۴ است و در کاربری جنگل مدل فیلیپ به ترتیب از ضرایب کارایی و تبیین ۰/۹۴۲ و

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول های ۳ و ۴، محاسبه معیارهای سنجش خطا در رابطه با کاربری مرتع و جنگل نشان دهنده آن است که در کاربری مرتع، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا به ترتیب از ضرایب کارایی و

۰/۹۹۳ برخوردار بوده و هم‌چنین دارای ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای نسبی به‌ترتیب برابر ۰/۶۰۲ و ۲/۰۶۵- است، در نتیجه به‌عنوان برترین مدل‌ها در هر کاربری انتخاب شدند. علاوه بر این در کاربری مرتع مدل‌های کوستیاکوف و فلیپ، و در کاربری جنگل مدل‌های کوستیاکوف و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا، به‌عنوان دیگر مدل‌های برتر انتخاب شدند؛ و مدل‌های گرین-آپت اصلاح شده و هورتون به‌عنوان بدترین مدل‌ها در هر دو کاربری انتخاب شدند.

بحث

مقدار آبی که در یک دوره زمانی مشخص در خاک نفوذ می‌کند را سرعت نفوذ می‌گویند. آبی که در خاک نفوذ می‌کند بعد از پیوستن به آب‌های زیرزمینی، آب زیرزمینی خوانده می‌شود. فرآیند نفوذ یکی از فرآیندهایی است که در بحث هیدرولوژی اهمیت فراران دارد، با توجه به این‌که نفوذ یکی از پدیده‌هایی است که باعث تلفات بارش می‌شود، در نتیجه از این نظر، نفوذ حائز اهمیت می‌باشد. از یک طرف با دانستن میزان نفوذ در حوزه‌ها، میزان دبی جریان خروجی از آن‌ها به‌دست می‌آید و از تلفات احتمالی در هنگام وقوع سیل جلوگیری به‌عمل می‌آید. از طرف دیگر با دانستن میزان آب اضافه شده به آب‌های زیرزمینی، می‌توان مدیریت بهتری از آب‌های زیرزمینی در هنگام وقوع خشکسالی و مصرف آن انجام داد. در سال‌های اخیر توسعه مدل‌های شبیه‌سازی فرآیندهای مرتبط با خاک به‌طور گسترده‌ای رو به افزایش می‌باشد، از این مدل‌ها بیشتر

برای درک بهتر فرآیندهای مرتبط با خاک طراحی شده‌اند و ابزاری برای ارزیابی مشکلات محیطی و کشاورزی می‌باشند.

نتایج این تحقیق مطابق شکل ۲ و جدول ۳ نشان می‌دهد که در کاربری جنگل، میزان نفوذ تجمعی، حداکثر سرعت نفوذ، متوسط سرعت نفوذ، سرعت نفوذ نهایی، متوسط نرخ کاهش نفوذ و زمان تا لحظه تثبیت نفوذ نسبت به کاربری مرتع بیشتر است که این امر به‌دلیل چرا و تردد بیشتر دام در کاربری مرتع نسبت به جنگل می‌باشد و این باعث لگد کوبی بیشتر مرتع شده و در نتیجه موجب کاهش پارامترهای فوق‌الذکر شده است. علاوه بر این پارامتر سرعت نفوذ نهایی، این دلیل (یعنی تأثیر لگد کوبی روی پارامترهای نفوذ) را ثابت می‌کند، زیرا سرعت نفوذ نهایی هر دو کاربری مرتع و جنگل با میزان ۸/۴ و ۸/۸ تقریباً برابر می‌باشد، و فقط لایه‌های سطحی خاک متأثر از لگد کوبی دام می‌باشند.

در ادامه بررسی معیارهای سنجش خطای مدل‌ها برای کاربری مرتع و جنگل، (جدول-های ۳ و ۴) آورده شده است. همان‌طوری که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در مقایسه با دیگر مدل‌ها، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا از ضرایب کارایی و تبیین بیشتر و هم-چنین دارای ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای نسبی کمتر می‌باشد، که این نتایج، با نتایج نشاط و پاره‌کار (۹) و سپهوند و همکاران (۳) مغایرت دارد، زیرا آن‌ها نشان دادند که مدل کوستیاکوف در مقایسه با دیگر مدل‌ها نتایج بهتری ارائه می‌دهد. مدل هورتون در مقایسه با سایر مدل‌ها از ضرایب کارایی و

گیری میزان نفوذ در کاربری مرتع و جنگل، به ترتیب از مدل های سازمان حفاظت خاک آمریکا و فلیپ استفاده شود.

تبیین پایین تری برخوردار بوده و ریشه میانگین مربعات خطای آن هم از بقیه مدل ها بیشتر است، در نتیجه مدل فوق به عنوان ضعیف ترین مدل برای کاربری مرتع انتخاب شد که این نتایج با نتایج تحقیق سپهوند و همکاران (۳) هم خوانی دارد. در این کاربری همه مدل ها به جز مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا، بقیه کم تخمین^۱ بوده اند. در کاربری جنگل مطابق جدول ۴، مدل فلیپ نسبت به دیگر مدل ها به ترتیب از ضرایب کارایی و تبیین بیشتر و هم چنین دارای ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای نسبی کمتر می- باشد، در نتیجه به عنوان مدل برتر انتخاب شد که این نتایج با نتایج تحقیق محمدی و رفاهی (۸) مغایرت دارد، زیرا آن ها مدل کوستیاکوف را به عنوان بهترین مدل انتخاب کردند. در این کاربری همانند کاربری مرتع، مدل هورتون به- عنوان ضعیف ترین مدل انتخاب شد. در کاربری جنگل به جز مدل کوستیاکوف بقیه مدل ها کم تخمین بوده اند.

نتیجه گیری

همان طوری که نتایج این تحقیق نشان می- دهد، مدل های سازمان حفاظت خاک آمریکا، فلیپ و کوستیاکوف بیشترین حساسیت را به تغییر کاربری داشته و مدل های گرین-آمپت اصلاح شده و هورتون نسبت به تغییر کاربری حساسیتی از خود نشان نداده اند زیرا در هر دو کاربری مرتع و کشاورزی در رتبه های آخر قرار گرفته اند. لذا پیشنهاد می شود برای اندازه-

¹ Underestimate

منابع

- ۱- امور آب استان لرستان، ۱۳۸۰. گزارش مطالعات دشت کوهدشت، ۸۵ ص.
- ۲- پرچمی عراقی، ف. میرلطیفی، س. م. قربانی دشتکی، ش؛ و مهدیان، م. ح.، ۱۳۸۹: برآورد نفوذ تجمعی آب به خاک با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در خاک های آهکی، نشریه آب و خاک، ۲۴ (۳): ۵۲۶-۵۱۲.
- ۳- سپهوند، ع. طایبی سمیرمی، م. میرنیا، س. خ. و مرادی، ح. ر.، ۱۳۹۰: ارزیابی حساسیت مدل های نفوذ نسبت به تغییرپذیری رطوبت خاک، نشریه آب و خاک، ۲۵ (۲): ۱-۱۱.
- ۴- صادقی ح. ر.، ۱۳۸۹: مطالعه و اندازه گیری فرسایش خاک، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، چاپ اول، ۱۷۱ ص.
- ۵- صفوی، ح. ر. ۱۳۸۵. هیدرولوژی مهندسی، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۶۰۳ ص
- ۶- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. فیزیک خاک، انتشارات دانشگاه فردوسی، ۴۳۸ ص.
- ۷- علیزاده، ا. ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و سوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۸۰۸ ص.
- ۸- محمدی، م. ح.، و رفاهی، ح.، ۱۳۸۴: تخمین پارامترهای معادلات نفوذ توسط خصوصیات فیزیکی خاک، مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۶ (۶): ۱۳۹۱-۱۳۹۸.
- ۹- نشاط، ع. و پاره کار، م.، ۱۳۸۶: مقایسه روش های تعیین سرعت نفوذ عمودی آب در خاک، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴ (۳): ۱-۱۰.
- 10- Chahinian, N., R. Moussa, P. Andrieux, & M. Voltz, 2005. Comparison of infiltration models to simulate flood event sat the field scale, Journal of Hydrology 306: 191-214.
- 11- Cho S.E., 2009. Infiltration analysis to evaluate the surficial stability of two-layered slopes considering rainfall characteristics, Engineering Geology 105: 32-43
- 12- Chu x., & A.M. Marino, 2005. Determination of pounding condition and infiltration into layered soils under unsteady rainfall, Journal of hydrology, 313:195-207.
- 13- Delleur, J.W., 2007. The HandBook of Groundwater Engineering. 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis, 1342pp.
- 14- Esteves M., S. Faucher, S. Galle, & M. Vauclin, 2000. Overland flow and infiltration modeling for small plots during unsteady rainfall, Journal of hydrology, 228:265-282.
- 15- Flanagan, D.C., J.C. Ascough, M.A. Nearing, & J.M. Laflen, 2001. The Water Erosion Prediction Project (WEPP) modem. In: Harmon, R.S., Doe Ill, W.W., (Eds), Land-scape Erosion and Evolution Modeling. Kluwer Acad. Publ., Norwell, MA, pp: 145-199.
- 16- Gandolfi C., F. Savi, 2000. A Mathematical Model for the Coupled Simulation of Surface Runoff and Infiltration, Journal of Agriculture Engineering Resource, 75:49-55.
- 17- Govindaraju, R.S., C. Corradini, & R. Morbidelli, 2006. A semi-analytical model of expected areal-average infiltration under spatial heterogeneity of rainfall and soil saturated hydraulic conductivity. Journal of Hydrology, 316: 184-194.
- 18- Green, W. H., & G. A. Ampt, 1911. Studies in soil physics :I. The flow of air and water through soils. J. Agric science .4:1-24
- 19- Horton, R.E., 1940. An approach toward to physical interpretation of infiltration capacity. Soil. Sci. Soc. Am. J. 5:399-417

- 20- Jain, A., & A. Kumar, 2006. An evaluation of artificial neural network technique for the determination of infiltration model parameters. *Applied Soft Computing* 6:272-282.
- 21- Kostikov, A.N., 1932. On the Dynamic of coefficient of water –percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Trans sixth comm. Intern. Soil .Sci. Soc. Russia. Part App* 17-21
- 22- Loaiciga, H.A., & Huang, A. 2007. Pounding analysis with Green-Ampt infiltration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(1):109-112.
- 23- Melone F., 2004. Flood forecasting and infiltration modeling, *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologyques*, 49(2): 227-237.
- 24- Mukheibir, P., 2008. Water resources management strategies for adaptation to climate-induced impacts in South Africa. *Water Resource Management*, 22:1259–1276.
- 25- Phillip, J.R., 1957. The theory of infiltration.1.Infiltration equation and its solution . *Soil. Sci.* 83: 345-357
- 26- Sarmadian, F., R. Taghizadeh Mehrjardi, & A. Akbarzadeh, 2009. Modeling of Some Soil Properties Using Artificial Neural Network and Multivariate Regression in Gorgan Province, North of Iran, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(1) :323-329.
- 27- Ward, A.D., & S.W. Trimble, 2004. *Environmental Hydrology*. Second Edition, CRC Press LLC, Pp 475.

Archive of SID