دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تعیین بهترین مدل‌های برآورد نفوذ در کاربری‌های مختلف، به منظور مدیریت بهینه حوزه‌های آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کاکاشرف، استان لرستان)

لیلا سلیمانی[۱]، علی حقی‌زاده[۲] و حسین زینی‌وند[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه لرستان (نویسنده مسوول: l.soleimani@ymail.com)
۲- استادیار، دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۵

چکیده

فرآیند نفوذ آب به خاک، یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژی است. از سوی دیگر، اندازه‌گیری آن دشوار، زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. مدل‌های نفوذپذیری، نقش مهمی را در مدیریت منابع آب به عهده دارند. بنابراین، انواع مختلفی از این مدل‌ها، با درجات مختلفی از پیچیدگی، برای رسیدن به این هدف، توسعه یافته‌اند. بدین منظور این تحقیق با هدف تعیین بهترین مدل برآورد نفوذ در کاربری‌های مرتع، جنگل و زراعت، در حوزه آبخیز کاکاشرف واقع در استان لرستان، انجام شد. در این پژوهش، اندازه‌گیری نفوذ با استفاده از روش استوانه‌های مضاعف صورت گرفته و مدل‌های فیلیپ، هورتون، گرین- آمپت، کوستیاکوف و سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، نیز برای تخمین نفوذ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در کاربری مرتع، تمام پارامترهای نفوذ (نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ نهایی، متوسط سرعت نفوذ و زمان تا لحظه تثبیت نفوذ)، کم‌تر از کاربری‌های جنگل و زراعت، بوده است. همچنین در مورد مقایسه مدل‌ها، در کاربری مرتع، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا، با ضریب کارایی نش- ساتکلیف ۰/۹۱۰ و ضریب تبیین ۰/۹۱۵ و در کاربری‌های جنگل و زراعت، مدل فیلیپ با ضریب کارایی نش به ترتیب ۰/۸۵۰ و ۰/۷۸۴، به عنوان برترین مدل‌ها در هرسه کاربری و نیز مدل هورتون، ضعیف‌ترین مدل در هر سه کاربری انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: نفوذپذیری، کاربری اراضی، استوانه‌های مضاعف، حوزه آبخیز کاکاشرف

مقدمه

نفوذ آب به خاک فرآیند اولیه ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیراشباع خاک در نظر گرفته شود. این فرآیند نقشی بسیار مهم در چرخه آبی طبیعت ایفا می‌نماید. نفوذ آب به خاک مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده آب برای ادامه حیات گیاهان می‌باشد (۱۷). 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 در یک لحظه معین از زمان را سرعت نفوذ لحظه‌ای گویند (۱۲). کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت حوزه‌های آبخیز از اهمیت بسیاری برخوردار است (۱۱). اهمیت فرآیند نفوذ سبب گردیده است، مدل‌های فیزیکی و تجربی گوناگونی به منظور کمی نمودن آن ارایه گردد (۲۰،۱). مدل‌های فیزیکی با استفاده از قوانین و روابط اثبات‌شده مانند قانون بقای جرم و قانون بقای انرژی و تلفیق آن‌ها و دست‌یابی به یک سری معادلات ریاضی مانند فیلیپ (۱۲) و گرین-آمپت (۴) 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 (۷) و هورتون (۵) است. تأثیر گرفتن از شرایط زمانی، مکانی و نارسایی پارامترهای معادلات در تبیین مفاهیم فیزیکی از نقص‌های عمده این گونه معادلات است (۱۰،۹). در مقایسه بین مدل‌های فیزیکی و تجربی مشخص شده که معادلات فیزیکی جزئیات نفوذ را نسبت به معادلات تجربی بهتر نشان می‌دهند (۹). در زمینه فرآیند نفوذپذیری در ایران و سایر نقاط جهان، پژوهش‌های بسیاری انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: لشنی زند و همکاران (۸)، به مقایسه مدل‌های نفوذ و تعیین بهترین تخمین‌گرهای نفوذ به منظور اعمال مدیریت بهینه در اراضی مرتع و جنگل حوزه آبخیز داود رشید در استان لرستان پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در کاربری مرتع، مدل سازمان حفاظت خاک امریکا و در کاربری جنگل، مدل فیلیپ، برترین مدل‌ها برای برآورد نفوذپذیری می‌باشند. واقفی (۱۸)، در مقاله‌ای به بررسی دو مدل نفوذپذیری مفهومی فیلیپ و گرین-آمپت پرداخته است و با توجه به نتایج ۳۵ آزمایش نفوذپذیری حلقه مضاعف انجام گرفته در حوزه آبخیز مسیل پلنگان نیریز که از حوزه‌های جنوب ایران می‌باشد، مدل گرین-آمپت از بهترین مدل مفهومی برای برآورد نفوذپذیری

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.41]

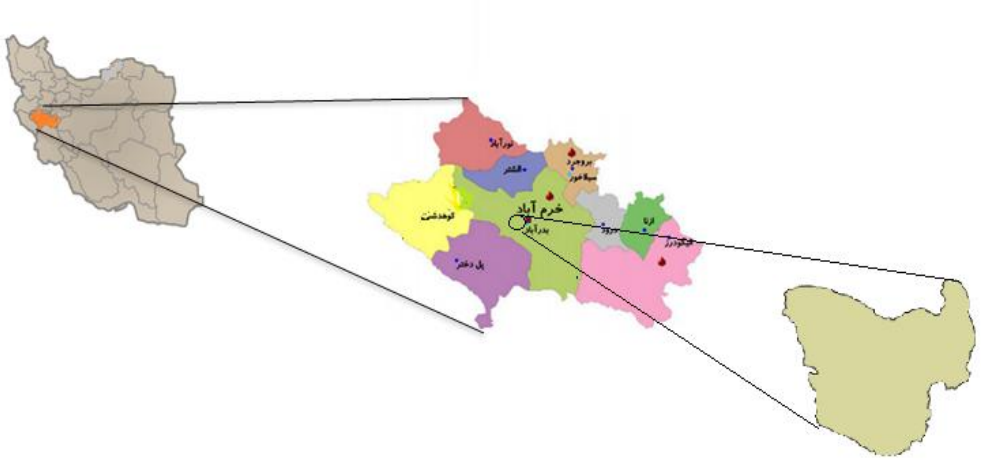
انتخاب گردیده است. سو و همکاران (۶)، سه مدل فیلیپ، گرین-آمپت و هورتون را با هم و در مورد چند نوع خاک مقایسه نمودند و در مورد این سه مدل و به طور مشخص، مدل گرین-آمپت، پارامترهای مدل را محاسبه نمودند که در بین مدل‌های محاسبه شده، پارامترهای مدل گرین آمپت هم‌خوانی بیش‌تر و دقیق‌تری با نتایج تحلیل عددی نشان داده است. راچمن (۱۴)، برای بررسی تأثیر کاربری اراضی‌های مختلف بر روی فرآیند نفوذپذیری از حلقه‌های دابل رینگ در پنج نوع مختلف از کاربری (جنگل طبیعی، زمین زراعی، مزرعه تولیدی چای، مزارع جدید چای و مناطق مسکونی) استفاده کرد. سپس با استفاده از اطلاعات به دست آمده، در قالب فرمول فیلیپ، نفوذ تجمعی را محاسبه کرد. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که نوع استفاده از زمین تأثیر قابل توجهی در متغیرهای معادله نفوذ مذکور داشته است. به طور کلی آن چه که از مرور تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی نفوذپذیری، به دست می‌آید، این است که مدل مناسب برای تخمین نفوذپذیری، با توجه به منطقه مورد نظر، نوع کاربری اراضی، رطوبت خاک، دوره زمانی مورد نظر (کوتاه‌مدت و بلندمدت)، و غیره انتخاب می‌شود که در شرایط مختلف، متفاوت است. بنابراین باید در انتخاب مدل مناسب برای برآورد نفوذ، پارامترهای ذکر شده را در نظر گرفت و در این خصوص دقت کافی را اعمال نمود (۱۶).

مطالعه حاضر به منظور مقایسه و تعیین بهترین مدل، از بین مدل‌های فیلیپ، گرین-آمپت، کوستیاکوف، و سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، برای اندازه‌گیری نفوذ، در کاربری‌های مختلف (جنگل، مرتع و زراعت) انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کاکاشرف (شکل ۱)، با مساحت ۱۰۷۹۸/۳ هکتار در استان لرستان و شهرستان خرم آباد و در جنوب شرقی این شهر قرارگرفته است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ″۰۸، ′۳۹ و °۴۸ تا ″۰۵۲، ′۵۷ و °۴۸ طول شرقی و ″۲۱ ، ′۱۶ و °۳۳ تا ″۰۰، ′۲۳ و °۳۳ عرض شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۲۸۷ متر و حداقل ارتفاع در خروجی آن، برابر ۲۱۲۱ متر از سطح دریا و دارای اقلیم خیلی مرطوب می‌باشد (۳).



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کاکاشرف در کشور و استان.

روش انجام تحقیق

ابتدا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه کاربری اراضی منطقه، مربوط به سال ۱۳۹۲، تهیه شد و مشخص گردید که منطقه دارای سه کاربری زراعی، جنگل و مرتع می‌باشد. سپس از روش نمونه‌برداری تصادفی، برای تعیین محل‌های اندازه‌گیری نفوذ استفاده گردید. به این صورت که نقاط نمونه‌برداری، ابتدا در روی نقشه به صورت تصادفی انتخاب شدند و سپس با توجه به اینکه ممکن بود نقاط انتخاب شده دارای شیب نامناسب برای اندازه‌گیری نفوذ باشند، بنابراین با دید کارشناسی و پیمایش صحرایی، مناطقی با شیب مناسب انتخاب شدند. از طرفی به دلیل موثر بودن رطوبت پیشین خاک در میزان نفوذپذیری، با استفاده از آگر و از طریق روش مستقیم در آزمایشگاه، درصد رطوبت خاک در کاربری‌های مختلف اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ آورده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.41]

جدول ۱- درصد رطوبت پیشین خاک در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعت

نوع کاربری	جرم خاک مرطوب (کیلوگرم)	جرم خاک خشک (کیلوگرم)	جرم آب موجود در خاک (کیلوگرم)	رطوبت خاک (درصد)
مرتع	۱/۲۶۰	۱/۱۹۴	۰/۰۶۶	۵/۵۲
جنگل	۱/۴۰۰	۱/۳۵۶	۰/۰۴۴	۳/۲۴
زراعت	۰/۸۱۰	۰/۷۸۵	۰/۰۲۵	۳/۱۸

پس از تعیین محل‌های مناسب برای نمونه‌برداری، با استفاده از استوانه‌های مضاعف به دلیل معمول بودن شیوه و تامین اطلاعات مفید در صورت کاربرد صحیح (۱۹)، برای اندازه‌گیری نفوذ به صورت شکل ۲ استفاده گردید.



شکل ۲- استوانه‌های مضاعف نصب شده در محل تحقیق.

نتایج حاصل از تحقیق به دو صورت ترسیم نمودار و مقایسه بین مقادیر واقعی و تخمین حاصل از مدل‌های نفوذ ارایه گردید. به منظور بررسی نموداری نتایج، ابتدا با تهیه بانک اطلاعاتی در نرم‌افزار EXCEL 2007 یک پایه زمانی مشترک برای تمامی اندازه‌گیری‌ها لحاظ گردید. بدین ترتیب پایه زمانی ۱۷۵دقیقه با توجه به مدت زمان ثابت شدن سرعت نفوذ انتخاب شد و نمودارهای آهنگ تغییرات سرعت نفوذ نسبت به زمان ترسیم شد. در ادامه پژوهش با استفاده از مدل‌های گرین-آمپت اصلاح شده، هورتون، مدل سازمان حفاظت از خاک آمریکا (SCS)، کوستیاکوف و فیلیپ، ضرایب مربوط به نفوذ محاسبه شد. در نهایت، مدلی که با توجه به معیارهای ارزیابی مورد استفاده، بهترین جواب را ارایه داد، مدل برتر در کاربری مربوطه انتخاب شد.

مدل‌های نفوذ

مدل کوستیاکوف: کوستیاکوف در سال ۱۹۳۲ رابطه تجربی زیر را برای تعیین مقدار نفوذ تجمعی پیشنهاد کرد. اگر از این رابطه مشتق گرفته شود رابطه بعدی که مشتق می‌شود، برای محاسبه نفوذ لحظه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲).

رابطه (۱) $$i(t) = ct^{-a}$$

رابطه (۲) $$I = \frac{c}{1-a} t^{1-a}$$

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.

روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (scs):

کارشناسان سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۸۹ بر اساس مدل کوستیاکوف، آزمایش‌های زیادی در مزارع انجام داده‌اند که نهایتاً منجر به روشی در محاسبه نفوذ گردید که به مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا معروف است. معادله SCS بدین صورت می باشد:

رابطه (۳) $$i(t) = at^{b} + c$$

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.

مدل نفوذپذیری (Green-Ampt(G-A):

این مدل، یکی از مدل‌های مفهومی می‌باشد که بر اساس قانون دارسی و رابطه پیوستگی معادلات آن تدوین شده است. در این مدل سرعت نفوذ و میزان نفوذ تجمعی از روابط زیر به دست می‌آید:

رابطه (۴) $$f(t) = k\left(1 + \frac{\psi.\Delta\theta}{F(t)}\right)$$

رابطه (۵) $$f(t) = k\left(\cos\theta + \frac{\psi.\Delta\theta}{F(t)}\right)$$

رابطه (۶) $$f(t) = k(\cos\theta) + k\,\frac{\psi.\Delta\theta}{F(t)}$$

رابطه (۷) $$\Delta\theta = \eta - \theta t$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.41]

F(t): سرعت نفوذ بر حسب سانتی‌متر بر ساعت، K: هدایت هیدرولیکی بر حسب سانتی‌متر بر ساعت، $\dot{\theta}$: مکش خاک در ناحیه مرطوب بر حسب سانتی‌متر، $\Delta\theta$: اختلاف درصد رطوبت اولیه و درجه پوکی، F(t): میزان نفوذ تجمعی بر حسب سانتی‌متر، T: زمان از شروع بارندگی بر حسب ساعت، η: درجه پوکی و Θ: درجه شیب، در نظر گرفته شد.

به دلیل این که مدل گرین-آمپت قادر نبود طی آزمایش‌هایی پدیده نفوذ را به درستی در خاک‌های غیرهمگن شبیه‌سازی کند و بالا بودن ریشه میانگین مربعات خطا، این مدل بعدا در سال ۱۹۸۰ از سوی Hachum و Alfara به صورت رابطه زیر اصلاح شد و مدل اصلاح‌شده گرین-آمپت را برای تعیین نفوذ در خاک‌هایی با لایه‌بندی مختلف به کار بردند.

معادله ساده‌شده گرین-آمپت به شرح زیر می‌باشد:

$$I = \frac{A}{i} + B$$ رابطه (۸)

که در این معادله I سرعت نفوذ، i نفوذ تجمعی و A و B ضرایب منطقه‌ای هستند که از روی آزمایش نفوذ به دست می‌آیند. مدل اصلاح شده گرین-آمپت به دلیل سادگی به وفور در تحقیقات هیدرولوژی مانند مدل SWAT و مدل‌های فرسایش مثل WEEP کاربرد دارند.

مدل هورتون: هورتون (۵)، پس از مشاهده‌های فراوان درباره چگونگی نفوذ آب در خاک به این نتیجه رسید که نفوذ آب در خاک از یک تابع نمایی کاهشی پیروی می‌کند. این تابع نمایی شامل فرآیندی می‌شود که در آن سرعت انجام کار، متناسب با کار باقی مانده است. بر این اساس سرعت نفوذ آب به خاک، کار قابل انجام در زمان t، متناسب با سرعت نفوذ در این زمان (I)، منهای سرعت نهایی نفوذ (If)، می‌باشد؛ بنابراین، تناسب (I-If) است. اگر سرعت انجام کار به صورت dI/dt نشان داده شود، خواهیم داشت:

$$-\frac{dI}{dt} = k\,(I - If)$$ رابطه (۹)

K: ضریبی برای تساوی دو طرف تناسب و علامت منفی حاکی از روند کاهشی سرعت نفوذ است که پس از انتگرال‌گیری و جایگزینی ضریب ثابت معادله زیر حاصل خواهد شد:

$$I(t) = I_f + (I_i - I_f)e^{(-Kt)}$$ رابطه (۱۰)

در این مطالعه اگر t بی‌نهایت شود، مقدار سرعت نفوذ به کمیت مثبت و بزرگتر از صفر (If)، میل می‌کند و در زمان صفر نیز سرعت نفوذ برابر با (Ii) است، که این موارد از مزایای معادله می‌باشد. از معایب معادله این است که ارقام حاصل برای سرعت نفوذ در ابتدا کم‌تر از مقدار واقعی است. اگر از معادله بالا انتگرال‌گیری شود، مقدار آب نفوذ یافته در زمان t حاصل می‌گردد:

$$i(t) = I_{ft} + \frac{(I_i - I_f)}{k}(1 - e^{(-kt)})$$ رابطه (۱۱)

I_i و I_f و K بستگی به ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی دارد. K به وضعیت سطح زمین بستگی دارد و در خاک‌های بدون پوشش گیاهی مقدار آن زیاد و در خاک‌هایی که پوشش گیاهی زیاد دارند، کوچک خواهد بود. در اکثر موارد معادله بالا به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$I(t) = Ct + H\,(1 - e^{(-Kt)})$$ رابطه (۱۲)

در این معادله، C، K و H: ضرایب معادله و همگی مثبت می‌باشند و از طریق برازش بهترین نمودار به داده‌های تجربی به دست می‌آیند (۱۲،۵).

مدل فیلیپ: یکی دیگر از مدل‌های نفوذپذیری، مدل فیلیپ است. در این مدل، مقدار نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$F(t) = S\,t^{\frac{1}{2}} + K\,t$$ رابطه (۱۳)

در این معادله، S: اشباع خاک بر حسب سانتی‌متر بر جذر ساعت، K: هدایت هیدرولیکی بر حسب سانتی‌متر بر ساعت. و دو متغیر S و K در معادله فیلیپ به ترتیب نشانگر مکش خاک و اثر جاذبه می‌باشند. به همین دلیل برای ستون افقی خاک تنها نیروی موثر، مکش خاک است و جاذبه اثری ندارد. در محاسبه نفوذ برای ستون افقی خاک، مقدار K، برابر صفر خواهد بود و خواهیم داشت:

$$f(t) = \frac{S\,t^{-\frac{1}{2}}}{2} + K$$ رابطه (۱۴)

مدل‌های نفوذ آب به خاک و ضرایب آن‌ها در جدول ۲، نشان داده شده است. سپس برای ارزیابی دقت مدل‌های نفوذ و انتخاب مدل برتر در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعت، از پارامترهای آماری ضریب کارایی نش-ساتکلیف (Nash)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین استفاده شد. ریشه میانگین مربعات خطا، نشان‌دهنده اختلاف کلی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی بوده و مقدار کارایی یا راندمان مدل در این حالت به یک نزدیک می‌شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.41]

جدول ۲- مدل‌های نفوذ آب به خاک و ضرایب آن‌ها

نام مدل	معادله نفوذ	ضرایب
کوستیاکوف	$i = ct^{a}$	C و a
گرین آمپت	$I = \frac{A}{i} + B$	A و B
هورتون	$I = I_f + (I_i - I_f)e^{-kt}$	I_f و K و I_i
SCS	$i = at^{b} + c$	a و b و c
فیلیپ	$i = St^{\frac{1}{2}} + kt$	K و S

مقدار کارایی مدل نیز نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها است و از منفی بی‌نهایت در بدترین حالت، تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها تغییر می‌کند (۱۵). از بین مدل‌های مذکور مدلی که از ضریب کارایی نش-ساتکلیف بالاتر و ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به یک برخوردار باشد به صورت مناسب‌ترین مدل انتخاب شد.

رابطه (۱۵) $$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\Sigma_{i=1}^{n}(Q_o - Q_s)^2}$$

رابطه (۱۶) $$Nash = 1 - \frac{\Sigma_{i=1}^{n}(Q_o^t - Q_s^t)^2}{\Sigma_{i=1}^{n}(Q_o^t - \overline{Q}_o)}$$

که در این روابط، Q_s مقدار برآورد شده، Q_o مقدار مشاهده شده، $\overline{O}$ میانگین مقادیر مشاهده شده (این پارامتر در مخرج کسر رابطه ۱۶ بکار برده شده است)و N تعداد داده‌های اندازه‌گیری نفوذ می‌باشد.(پارامتر مذکور با N نشان داده شده است، منظور از i وn اعداد طبیعی می باشد)

نتایج و بحث

ابتدا به دلیل متفاوت بودن بسیاری از ویژگی‌های فرآیند نفوذپذیری، برخی پارامترها از قبیل نفوذ تجمعی، متوسط سرعت نفوذ، حداکثر سرعت نفوذ، سرعت نفوذ نهایی و زمان تا لحظه تثبیت نفوذ، در کاربری‌های مختلف محاسبه گردید که نتایج حاصل از آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده نفوذ در کاربری‌های مختلف

کاربری	نفوذ تجمعی (سانتی‌متر) تا زمان ۱۷۵ دقیقه	متوسط سرعت نفوذ (سانتی‌متر بر ساعت)	حداکثر سرعت نفوذ (سانتی‌متر بر ساعت)	سرعت نفوذ نهایی (سانتی‌متر بر ساعت)	زمان تا لحظه تثبیت نفوذ (ساعت)
زراعت	۴۲/۹	۱۴/۷	۴۸	۱۰/۹۸	۲/۹۱
جنگل	۲۷/۸	۹/۵۳	۳۶	۷/۴۲	۲/۴۱
مرتع	۲۴/۵	۸/۴	۳۰/۲	۹/۴۴	۲/۲۵

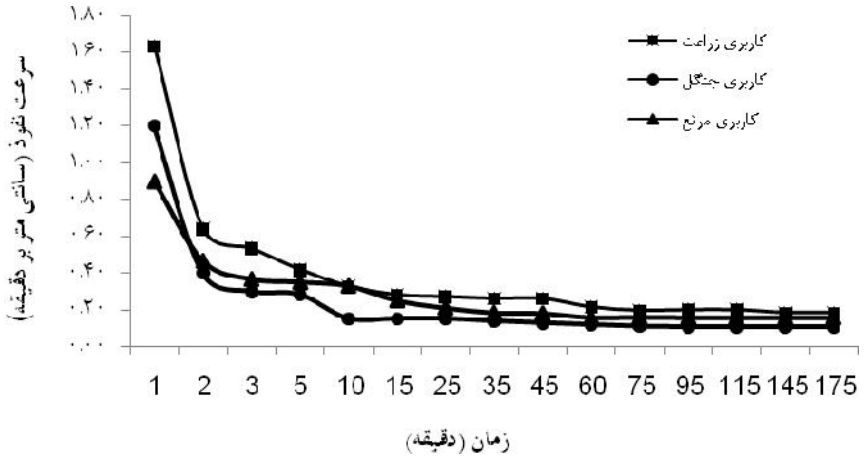
مطابق مقادیر حاصله از جدول ۳، بیش‌ترین نفوذ تجمعی در پایه زمانی ۱۷۵ دقیقه، با میزان ۴۲/۹ سانتی‌متر متعلق به کاربری زراعت و پس از آن، میزان ۲۷/۸ سانتی‌متر متعلق به کاربری جنگل است. هم‌چنین از میزان حداکثر سرعت نفوذ از کاربری زراعت به سمت کاربری مرتع کاسته شده که پس از کاربری زراعت، بیش‌ترین مقدار آن مربوط به کاربری جنگل می‌باشد. متوسط سرعت نفوذ نیز با استفاده از رابطه ۱۷ محاسبه گردید که بر این اساس، مقدار آن در کاربری زراعت ۱۴/۷، کاربری جنگل ۹/۵۳ و کاربری مرتع ۸/۴ سانتی‌متر بر ساعت است.

$$\bar{I} = \frac{CF}{T} \qquad (۱۷)$$

در این رابطه $\bar{I}$ متوسط سرعت نفوذ، CF مقدار نفوذ تجمعی در کل مدت زمان اندازه‌گیری نفوذ و T کل زمان اندازه‌گیری (۱۷۵ دقیقه) محسوب می‌گردد. در ادامه برای مقایسه کلی تغییرات سرعت نفوذ نسبت به زمان نیز اقدام به ترسیم نمودار آهنگ تغییرات نفوذ در هر سه کاربری مورد مطالعه نموده که در شکل ۳، آمده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.41]



شکل ۳- آهنگ تغییرات سرعت نفوذ در هر سه کاربری

پس از آن، ابتدا ضرایب پنج مدل نفوذ محاسبه و سپس برای مقایسه مدل‌های نفوذ و تعیین بهترین مدل اندازه‌گیری نفوذ در کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعت، اقدام به برآورد معیارهای سنجش خطا گردید که نتایج آن در جدول‌های ۴ الی ۷ آورده شده است.

جدول ۴- محاسبه ضرایب معادلات نفوذ در سه کاربری زراعت، جنگل و مرتع

نام مدل	کاربری زراعت	کاربری جنگل	کاربری مرتع
کوستیاکوف	$i = 1.41t^{0.429}$	$i = 1.11t^{0.356}$	$i = 0.849t^{0.425}$
گرین آمپت	$I = \frac{1.96}{i} + 0.210$	$I = \frac{1.69}{i} + 0.256$	$I = \frac{0.646}{i} + 0.118$
هورتون	$I = 0.01 + (0.134 - 0.01)e^{-0.19t}$	$I = 0.05 + (0.112 - 0.05)e^{-0.037t}$	$I = 0.05 + (0.204 - 0.05)e^{-0.053t}$
SCS	$i = 0.894t^{0.516} + 0.6985$	$i = 0.551t^{0.488} + 0.6985$	$i = 0.213t^{0.742} + 0.6985$
فیلیپ	$i = 1.68t^{0.5} + 0.105t$	$i = 1.27t^{0.5} + 0.107t$	$i = 0.855t^{0.5} + 0.29t$

جدول ۵- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌ها در کاربری مرتع

نوع مدل	ضریب کارایی نش- ساتکلیف	ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین
کوستیاکوف	۰/۸۷۹	۰/۷۳۳	۰/۹۲۴
گرین- آمپت	۰/۸۰۴	۵/۶۷	۰/۸۲۳
هورتون	۰/۲۵۶	۱۱/۶۳	۰/۵۷۷
سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۹۱۰	۰/۶۳۱	۰/۹۱۵
فیلیپ	۰/۸۵۰	۰/۸۱۹	۰/۸۷۸

جدول ۶- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌ها در کاربری جنگل

نوع مدل	ضریب کارایی نش- ساتکلیف	ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین
کوستیاکوف	۰/۷۸۰	۱/۱۴	۰/۸۱۵
گرین- آمپت	۰/۵۵۰	۱۲/۸	۰/۵۴۱
هورتون	۰/۱۱۵	۱۳/۴	۰/۲۸۷
سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۸۰۶	۱/۰۷	۰/۸۸۳
فیلیپ	۰/۸۵۰	۰/۹۳۶	۰/۹۸۵

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.41]

جدول ۷- معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌ها در کاربری زراعت

نوع مدل	ضریب کارایی نش- ساتکلیف	ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین
کوستیاکوف	۰/۷۵۴	۱/۷۶	۰/۸۵۵
گرین- آمپت	۰/۵۴۲	۷/۲۴	۰/۵۴۳
هورتون	۰/۱۴۳	۱۱/۲	۰/۲۰۹
سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۷۷۷	۱/۵	۰/۸۸۷
فیلیپ	۰/۷۸۴	۰/۹۸۰	۰/۹۸۲

بر اساس آن‌چه که در جدول‌های ۴ تا ۷ مشاهده می‌شود، در کاربری مرتع، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا، از ضریب کارایی ۰/۹۱۰ و ضریب تبیین ۰/۹۱۵ و نیز کم‌ترین ریشه میانگین مربعات خطا (۰/۶۳۱)، برخوردار بوده است. در کاربری جنگل و زراعت نیز، مدل فیلیپ با ضرایب کارایی به ترتیب ۰/۸۵۰ و ۰/۷۸۴ و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۹۳۶ و ۰/۹۸۰ برخوردار بوده‌اند. هم‌چنین دارای ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۸۵ و ۰/۹۸۲ می‌باشند. در نتیجه به صورت برترین مدل‌ها در هر کاربری انتخاب شدند. علاوه بر این، در کاربری مرتع، مدل‌های کوستیاکوف و فیلیپ، در کاربری جنگل و زراعت، مدل‌های کوستیاکوف و سازمان حفاظت خاک آمریکا، به عنوان دیگر مدل‌های برتر انتخاب گردید و مدل‌های هورتون و گرین- آمپت به عنوان ضعیف‌ترین مدل‌ها در هر سه کاربری انتخاب شدند.

از آن‌جا که کمی کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت منابع آب و حوزه‌های آبخیز، از اهمیت بسیار زیادی بر خوردار است، بنابراین، انواع مختلفی از مدل‌ها، با درجات مختلفی از پیچیدگی، برای رسیدن به این اهداف، توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها برای درک بهتر فرآیند نفوذ طراحی شده‌اند و ابزاری برای ارزیابی مشکلات محیطی در کاربری‌های مختلف هستند. براساس نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر و مطابق جدول ۳ و شکل ۳، مقادیر نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ نهایی، حداکثر سرعت نفوذ، متوسط سرعت نفوذ و زمان تا لحظه تثبیت نفوذ در کاربری زراعت بیش‌تر از کاربری جنگل و در کاربری جنگل بیش‌تر از کاربری مرتع می‌باشد، که این امر می‌تواند نشان‌دهنده نبود تعادل دام در مرتع و لگدکوبی زیاد دام و سفت شدن و سله بستن خاک است، که در نهایت، باعث کاهش نفوذ آب در خاک می‌گردد، به طوری که این موارد نیز به نوبه خود باعث ایجاد سیل‌های مخرب، آلودگی محیط‌زیست، قحطی و خشکسالی، افزایش فرسایش در سطح مراتع، کاهش رطوبت خاک و در نتیجه کاهش پوشش گیاهی می‌شوند. هم‌چنین در مورد کاربری زراعت، بالا بودن مقادیر پارامترهای ذکر شده را می‌توان به عملیات شخم و دست خوردن لایه‌های سطحی خاک ارتباط داد. بررسی معیارهای سنجش خطا برای هرکدام از مدل‌ها در کاربری‌های مختلف نیز، (مطابق جداول ۴ تا ۷)، نشان داد که در کاربری مرتع، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا در مقایسه با سایر مدل‌ها، از کارایی بیش‌تری برخوردار است، که این نتایج با نتایج، لشنی زند و همکاران (۸)، هم‌خوانی دارد. اما با نتایج نشاط و پاره‌کار (۱۲) و سپهوند و همکاران (۱۵)، مغایرت دارد، چرا که آن‌ها مدل کوستیاکوف را بهترین مدل معرفی نموده‌اند. هم‌چنین مدل هورتون به دلیل کمترین مقدار ضریب کارایی و ضریب تبین و بیش‌ترین مقدار مجذور مربعات خطا، ضعیف‌ترین مدل در کاربری مرتع معرفی گردند که این نتایج با نتایج سپهوند و همکاران (۱۵) و لشنی‌زند و همکاران (۸)، هم‌خوانی دارد. در کاربری جنگل نیز با توجه به مقادیر ضریب کارایی نش-ساتکلیف، ضریب تبیین و مجذور مربعات خطا، مدل فیلیپ از بهترین مدل انتخاب گردید که با نتایج لشنی زند و همکاران (۸)، همخوانی داشته، اما با نتایج محمدی و رفاهی (۱۰)، که مدل کوستیاکوف را به عنوان مدل برتر معرفی نموده‌اند، مغایرت دارد. در کاربری زراعت نیز همانند کاربری جنگل، مدل فیلیپ مدل برتر، انتخاب گردید. بنابراین به طور کلی، مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا، کوستیاکوف و فیلیپ، نسبت به تغییر کاربری بیش‌ترین حساسیت را دارا بوده و مدل‌های هورتون و گرین-آمپت حساسیت چندانی را از خود نشان نداده‌اند.

بنابراین، بهتر است در کاربری مرتع از مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا و در کاربری‌های جنگل و زراعت، از مدل فیلیپ استفاده شود.

منابع

1. Argyrokastritis, I. and P. Kerkides. 2003. A Note to the Variable Sorptivity Infiltration Equation. Water Resources Management, 17: 133-145.
2. Delleur, J.W. 2007. The Handbook of Groundwater Engineering. 2nd Edition, CRC Press, Taylor and Francis, 1342 pp.
3. Department of Natural Resources of Lorestan. 2008. Detailed Studies of Kakasharaf Catchment Basin, 1: 226-234 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.41]

4. Green, W.H. and G.A. Ampt. 1911. Studies in Soil Physics: I. the Flow of Air and Water Through Soils. Journal of Agriculture science, 4: 1-24 (In Persian).
5. Horton, R.E. 1940. An Approach Toward to Physical Interpretation of Infiltration Capacity. Soil Science Society of America Journal, 5: 399-417.
6. Hsu, S.M., C.F. Ni and P.F. Hung. 2002. Assessment of Three Infiltration Formulas Based on Model Fitting and Richards's Equation. Journal of Hydrology Engineering, 7: 373-379.
7. Kostiakov, 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. Transactions of 6th Congress of International Soil Science Society, Moscow, Part A, 17-21pp.
8. Lashani Zand, M., A. Sepahvand and M. Taei Semiromi. 2012. The Comparison of Infiltration Models in Order to Determine the Best Estimators of Infiltration Rate in the Rangeland and Woodland Land Uses (Case Study: Davood Rashid Watershed Lorestan Province). Journal of Natural Ecosystems of Iran, 2: 11-23 (In Persian).
9. Loaiciga, H.A. and A. Huang. 2007. Pounding Analysis with Green-Ampt Infiltration. Journal of Hydrologic Engineering, 12: 109-112.
10. Mohammadi, M.H. and H. Refahi. 2005. Estimating Parameters of Infiltration Equations Using Soil Physical Properties. Journal of Agricultural Science, 36: 1391-1398 (In Persian).
11. Mukheibir, P. 2008. Water Resources Management Strategies for Adaptation to Climate-Induced Impacts in South Africa. Water Resources Management, 22: 1259-1276.
12. Neshat, A. and M. Parekar. 2007. The comparison of Methods for Determining the Vertical Infiltration Rate. Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 14: 1-10 (In Persian).
13. Phillip, J.R. 1957. The Theory of Infiltration: 1. Infiltration Equation and Its Solution. Soil Science, 83: 345-357.
14. Rachman, S. 1992. Infiltration under Different Land Use Types at the Upper Ciliwung Watershed of Weat Java, Indonesia. A Thesis Submitted in Fulfilment of one Half the Requirements of Degree of Master of Applied Science in Resource Management, University of Canberra. 141 pp.
15. Sepahvand, A., M. Taei Semiromi, S.K. Mirnia and H.R. Moradi. 2011. Assessing the Sensitivity of Infiltration Models to Variability of Soil Moisture, Journal of Water and Soil, 25: 338-346 (In Persian).
16. Soleimani, L., A. Haghizade and H. Zeinivand. 2013. Overview Comparing the Various Models to Estimate Soil Permeability, 7th National Geological Conference, Lorestan Payame Noor University. 125-126 pp (In Persian).
17. Turner, E.R. 2006. Comparison of Infiltration Equations and Their Field. Validation with Rainfall Simulation. M.Sc. Thesis, University of Maryland, USA, 202 pp.
18. Vaghefi, M. 2004. Efinition of the Conceptual Infiltration Model and Converting Crude Rainfall to Pure Rainfall in Southern Watersheds of Country. First National Conference of Civil Engineering, Sharif University of Technology, University in Tehran, 22-23 May 2004.1-9 pp (In Persian).
19. Ward, A.D. and S.W. Trimble. 2004. Environmental Hydrology. 2nd Edition, CRC Press LLC, 475 pp.
20. Weiler, M. 2005. An Infiltration Model Based on Flow Variability in Macro Pores: Development, Sensitivity Analysis and Applications. Journal of Hydrology, 310: 294-315.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.41]

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)

Leila Soleimani[1], Ali Haghizadeh[2] and Hossein Zeinivand[2]

1- M.Sc. Student, Lorestan University
(Corresponding author: l.soleimani@ymail.com)
2- Assistant professor, Lorestan University
Received: December 14, 2013 Accepted: January 15, 2014

Abstract

The process of infiltration is one of the most important components of the hydrological cycle. On the other hand, the direct measurement of infiltration process is difficult, time spending and expensive. Infiltration models play a main role in managing water resources. Therefore, different types of models with various degrees of complexity were developed to reach this aim. So, this research carried out to the determination of the best infiltration estimation model in Rangeland, forest, agriculture land uses, in the Kakasharaf Watershed in Lorestan province. In this study, infiltration measurements were carried out using the infiltrometer double rings and Philip, Horton, Green-Ampt, Kostiakov and Soil Conservation Service of America (SCS) models, and use to estimate the infiltration. The results of this study showed that in rangeland use, the infiltration of all parameters (cumulative infiltration, the final infiltration rate, infiltration rate and the average time until stabilizing infiltration), is less than forestry and agriculture land use. It also compares the models, in the rangeland, Soil Conservation Service Model, with Nash-Sutcliffe efficiency coefficient 0.910 and coefficient of 0.915, and in land use of forest and agriculture, Philip Model with Nash efficiency coefficient, respectively 0.850 and 0.784, were selected as the best models in the three land uses. The Horton model was selected the weakest model in all of the three land uses as well.

Keywords: Double Rings, Kakasharaf Watershed, Land Use, Infiltration

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.18869/acadpub.jwmr.7.13.41]