

## بررسی مدل‌های نفوذ در پوشش خاک اراضی مرتعی، مطالعه موردی: حوضه گنبد در استان همدان

جهانگیر پرهمت\*<sup>۱</sup> و هادی نظری پویا<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و <sup>۲</sup>مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۴

### چکیده

نفوذ یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه هیدرولوژی و مورد نیاز در مدیریت و بهره‌برداری منابع آب است. این پدیده در طبیعت به عوامل متعددی وابسته و اندازه‌گیری آن مشکل است. بنابراین، مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی آن ارائه شده است. ارزیابی مدل‌های نفوذ با داده‌های مشاهده‌ای حلقه مضاعف نشان می‌دهد که هر کدام از این مدل‌ها در شرایطی بر بقیه برتری داشته‌اند. براین اساس، در پژوهش حاضر مدل‌های فیلپ، هورتن، گرین-آمپ، SCS، کاستیاکف و لوئیس-کاستیاکف به همراه پارامترهای آن‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، حوضه گنبد در استان همدان انتخاب و به چهار واحد هیدرولوژیکی همگن تقسیم شد. سپس، میزان نفوذ در فصل خشک برای ارزیابی این مدل‌ها، در هر واحد با حلقه مضاعف اندازه‌گیری شد. نتایج پژوهش نشان داد مدل فیلپ نفوذ را با دقت بیشتری برآورد نموده و در مرتبه بعد مدل کاستیاکف قرار دارد. برای روابط مدل فیلپ ضریب همبستگی بین ۰/۹۷۵ تا یک، خطای میانگین بین ۰/۰۱۷- تا ۰/۰۱۷+ و میانگین جذر مربعات خطا حداکثر ۰/۲۲ به‌دست آمده است. برای مدل کاستیاکف ضریب همبستگی بین ۰/۹۵۶ تا ۰/۹۹۸، خطای میانگین بین ۰/۳- تا ۰/۰۳+ و میانگین جذر مربعات خطا حداکثر ۱۴/۲۵ است. علاوه بر این، رابطه همبستگی بین پارامترهای این مدل‌ها با دو شاخص بافت خاک شامل درصدهای رس و شن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد به استثناء مدل SCS، کلیه پارامترهای سایر مدل‌ها در سطح معنی‌دار پنج درصد به این دو شاخص وابسته بوده و نیز حداقل یک پارامتر هر مدل دارای همبستگی بالا و معنی‌دار است. مقدار ضریب همبستگی به ترتیب برای پارامتر تابع هدایت هیدرولیکی خاک (A) در مدل فیلپ ۰/۹۹، برای پارامتر ثابت مدل گرین-آمپ (B) ۰/۹۵، برای تابع کاهنده نفوذ در مدل هورتن (k) ۰/۹۹، برای ضریب تابع نمایی مدل کاستیاکف (b) ۰/۹۹۹ و برای ضریب تابع نمایی مدل لوئیس-کاستیاکف (b) در ۰/۹۶ به‌دست آمد. رابطه همبستگی سایر پارامترها با درصد رس و شن کمتر از ۰/۵ به‌دست آمده و در سطح پایینی معنی‌دار می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** بافت خاک، پارامتر مدل، رطوبت خاک، شبیه‌سازی نفوذ، واحد همگن هیدرولوژیکی

### مقدمه

نفوذ فرآیند جریان عمودی آب از سطح به درون خاک است (Liu و همکاران، ۲۰۱۱، Dagadu و Nimbalkar، ۲۰۱۲، Diamond و Shanley، ۲۰۱۳، Sonaje،

طبق تعریف نرخ واقعی ورود آب به خاک در یک مقطع زمانی نفوذ اطلاق می‌شود (Delleur، ۲۰۰۷).

مدل‌های نفوذ برخوردار است، ولی Abdulkadir و همکاران (۲۰۱۱) مدل هورتن را به دلیل برازش بهتر بر داده‌های مشاهده‌ای ترجیح داده‌اند.

Van De Genachte و همکاران (۱۹۹۶) چهار مدل هورتن، کاستیاکف، فیلیپ و گرین-آمپ را با داده‌های مشاهده‌ای نفوذ در دو گروه خاک فرال سول و آرنوسل مورد بررسی قرار داده و نتیجه‌گیری نمودند که در گروه فرال سول هر چهار مدل نفوذ را بخوبی برآورد نموده، ولی در گروه آرنوسل سه مدل فیلیپ، گرین-آمپ و هورتن به‌طور معنی‌داری دقیق‌تر از مدل کاستیاکف نفوذ را برآورد نمودند.

چهار مدل نفوذ شامل کاستیاکف، لوئیس-کاستیاکف، کاستیاکف اصلاح شده و فیلیپ توسط Idris و Igbadun (۲۰۰۷) با داده‌های حلقه مضاعف مقایسه و نتیجه‌گیری شد که به ترتیب مدل کاستیاکف و کاستیاکف اصلاح شده دارای برازش بهتری برای داده‌های اندازه‌گیری شده است. Mao و همکاران (۲۰۰۸) سه مدل کاستیاکف، فیلیپ و کاستیاکف اصلاح شده را با داده‌های مشاهده‌ای حلقه مضاعف ارزیابی و نتیجه‌گیری نمودند که هر سه مدل دارای همبستگی بالایی با داده‌های مشاهده‌ای نفوذ هستند.

همچنین، Francisco و همکاران (۲۰۰۹) سه مدل کاستیاکف، لوئیس-کاستیاکف و هورتن را با داده‌های حلقه مضاعف ارزیابی نموده و در نتیجه مدل هورتن را به عنوان مدلی که با داده‌های مشاهده‌ای برازش بهتری داشته معرفی کردند. پس از آن Raouf و همکاران (۲۰۰۹) با اندازه‌گیری نفوذ و رطوبت خاک با حلقه مضاعف و تانسیمتر پارامترهای مدل فیلیپ را در یک مدل فازی تعیین و نتایج را رضایت‌بخش اعلام نمودند.

مدل کاستیاکف و لوئیس-کاستیاکف توسط Rahimi (۲۰۱۱) با داده‌های حلقه مضاعف مقایسه و نتیجه‌گیری شد که مدل کاستیاکف نسبت به لوئیس-کاستیاکف برآورد بهتری از مقادیر نفوذ را به دست می‌دهد و نیز مدل لوئیس-کاستیاکف نفوذ را بیش برآورد می‌کند. Ogbe و همکاران (۲۰۱۱) چهار مدل هورتن، کاستیاکف، فیلیپ و کاستیاکف اصلاح شده را بر اساس داده‌های حلقه مضاعف مورد مقایسه قرار

با توجه به اهمیت این مؤلفه در چرخه هیدرولوژی و در بسیاری از کارهای اجرایی، مورد توجه زیادی قرار گرفته است. شبیه‌سازی نفوذ و حرکت آب در خاک کاربردهای وسیعی در هیدرولوژی، زراعت، حفاظت محیط زیست و موارد متعدد دیگری دارا بوده و موفقیت بسیاری از پروژه‌ها به صحت مدل انتقال آب در خاک وابسته است (Pachepsky, ۲۰۰۳). همچنین، آگاهی از پارامترهای هیدرودینامیکی برای شبیه‌سازی فرآیندهای انتقال و برآورد نتایج آنها مورد نیاز است (Miroslav و همکاران، ۲۰۱۴).

مدل‌های متعددی برای شبیه‌سازی نفوذ ارائه شده که به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته اول مدل‌هایی هستند که دارای اساس نظری بوده و دسته دوم مدل‌های تجربی می‌باشند. از جمله مشهورترین مدل‌های گروه اول می‌توان به گرین-آمپ (۱۹۱۱) و فیلیپ (۱۹۵۷ و ۱۹۵۸) و مدل‌های گروه دوم هورتن (۱۹۳۳)، کاستیاکف (۱۹۳۲)، لوئیس-کاستیاکف (Lewis و Mine، ۱۹۳۸؛ Walker و Skogerboe، ۱۹۸۷)؛ SCS (۱۹۵۴) اشاره نمود. اساس نظری نفوذ آب در محیط غیراشباع توسط Richards (۱۹۳۱) به‌صورت معادله‌ای ارائه شده که از تلفیق معادلات داری و بقای جرم به‌دست آمد.

مدل‌های گرین-آمپ و فیلیپ، با وجود روابط مبتنی بر اصول نظری، به دلیل مشکلات در تعیین برخی پارامترها در آن‌ها، هنوز وابسته به داده‌های تجربی است. از سویی، نفوذ از پارامترهای هیدرولوژیکی است که ارزیابی و اندازه‌گیری دقیق آن مشکل است (Ayu و همکاران، ۲۰۱۱). در این رابطه، بررسی ارتباط پارامترهای مدل‌های مختلف با ویژگی‌های خاک توسط افراد مختلف انجام شده و پژوهش‌های زیادی برای آزمون و تعیین پارامترهای این مدل‌ها صورت گرفته است (Mbagwu، ۱۹۹۴).

مدل کاستیاکف توسط Clemmens (۱۹۸۳) بر اساس داده‌های نفوذ در آبیاری کرتی به مدل‌هایی که دارای اساس نظری هستند (مانند مدل نفوذ فیلیپ) ترجیح داده شد. Naeth و همکاران (۱۹۹۱) اعلام نمودند مدل کاستیاکف به دلیل ساده بودن و داشتن تنها دو پارامتر از کاربرد بیشتری نسبت به سایر

Moosavi و همکاران (۲۰۰۵) با هدف ارزیابی و تعیین ضرایب مدل‌های گرین-آمپت، فیلیپ، کاستیاکف، لوئیس-کاستیاکف و هورتون، بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده از باران‌ساز مصنوعی و حلقه مضاعف نشان دادند که مدل کاستیاکف بهترین برازش را با داده‌های تجربی داشته است.

Mohamadi و Refahi (۲۰۰۵) بر اساس داده‌های مناطق مختلف استرالیا نتیجه‌گیری نمودند که دو مدل کاستیاکف و فیلیپ با داده‌های مشاهده‌ای تطابق مناسبی داشته، ولی مدل هورتون عملکرد مناسبی نداشته است. Naderianfar و همکاران (۲۰۱۳) از داده‌های آزمایش حلقه مضاعف با بار ثابت در حوضه شهرکرد، چهار مدل گرین-آمپ، کاستیاکف، کاستیاکف-لوئیس و فیلیپ را بررسی و نتیجه‌گیری نمودند که بر اساس ضریب همبستگی پیرسون مدل فیلیپ بهترین عملکرد را داشته است. Kavooosi و همکاران (۲۰۱۳) در چهار نوع کاربری اراضی با اندازه‌گیری نفوذ با حلقه مضاعف پنج مدل نفوذ شامل مدل‌های نفوذ سازمان حفاظت خاک آمریکا SCS، فیلیپ، کاستیاکف، گرین-آمپ و هورتون را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که مدل کاستیاکوف در هر چهار کاربری بهترین برازش را با داده‌های مشاهده‌ای داشته است.

Vaghefi و Movahedizadeh (۲۰۱۴) در سواحل رودخانه مند شهرستان دشتی استان بوشهر برای تعیین مدل مناسب و محاسبه ضرایب هشت مدل نفوذپذیری، با استفاده از حلقه مضاعف نفوذ را اندازه‌گیری نمودند. هشت مدل انتخابی این پژوهشگران شامل فیلیپ، کاستیاکف، SCS، کاستیاکف لوئیس، گرین-آمپ، اورتون، هورتون و هال است. بر اساس نتایج پژوهش آنها به ترتیب مدل‌های فیلیپ، کاستیاکف و SCS نسبت به مدل‌های کاستیاکف لوئیس، گرین-آمپ، اورتون، هورتون و هال برای این حوضه تناسب و تطابق بیشتری داشته‌اند.

Fakher Nikcheh و همکاران (۲۰۱۴) پارامترهای پنج مدل نفوذپذیری کاستیاکف، گرین-آمپت، هورتون، سرویس حفاظت منابع طبیعی امریکا (NRCS) و فیلیپ را در چهار کاربری اراضی شامل

داده و نتیجه‌گیری نمودند که مدل هورتون با داده‌های مشاهده‌ای همبستگی بهتری را نشان می‌دهد. همزمان، Liu و همکاران (۲۰۱۱) سه مدل نفوذ هورتون، کاستیاکف و فیلیپ را با داده‌های حلقه مضاعف مقایسه و نشان دادند که مدل هورتون با داده‌های حلقه مضاعف برازش بهتری دارد.

چهار مدل هورتون، کاستیاکف، فیلیپ و کاستیاکف اصلاح شده بر اساس داده‌های حلقه مضاعف توسط Jejurkar و Rajurkar (۲۰۱۲) بررسی و نتیجه‌گیری شد که مدل کاستیاکف با داده‌های حلقه مضاعف انطباق بیشتری داشته است. Dagadu و Nimbalkar (۲۰۱۲) در مطالعه خود نشان دادند که پارامترهای مدل‌های نفوذ از خاکی به خاک دیگر و از تیپ خاکی به تیپ خاک دیگر تغییر می‌کند. همچنین، این پژوهشگران دریافتند که بر اساس ضریب همبستگی و خطای استاندارد در تمام نوع و تیپ خاک‌ها مدل هورتون نسبت به مدل‌های گرین-آمپ، کاستیاکف و کاستیاکف اصلاح شده بهترین برازش را بر داده‌های مشاهده‌ای نفوذ داشته است.

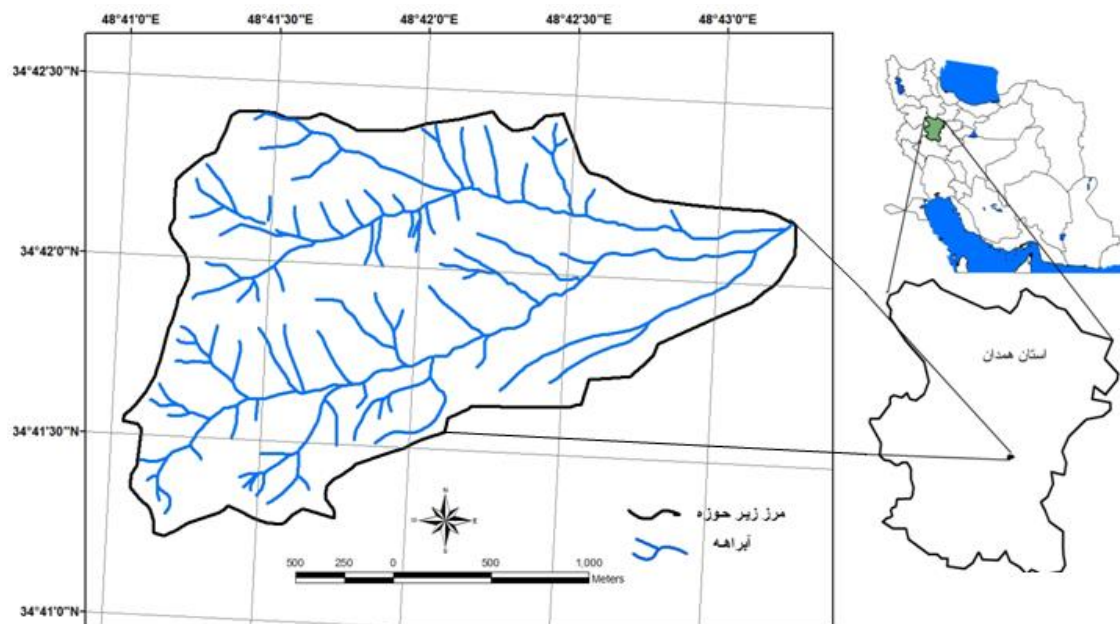
Karami و همکاران (۲۰۱۲) شش مدل نفوذ شامل هورتون، کاستیاکف، لوئیس-کاستیاکف، SCS، فیلیپ و گرین-آمپ را در دشت خوزستان ایران با داده‌های مشاهده‌ای حلقه مضاعف مورد ارزیابی قرار داده و گزارش دادند که لوئیس-کاستیاکف، کاستیاکف و فیلیپ دارای نتایج بهتری نسبت به سه مدل دیگر است. Arab و همکاران (۲۰۱۴) چهار مدل کاستیاکوف، هورتون، فیلیپ و تالسم-پارلنج را بر اساس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری با حلقه مضاعف ارزیابی نموده و نتیجه‌گیری نمودند که به ترتیب دو مدل کاستیاکوف و فیلیپ دارای برآورد مناسبی از نفوذ مشاهده‌ای حلقه مضاعف است. هفت مدل شامل هورتون، فیلیپ، اسوارتزنرودر، کاستیاکف، کاستیاکف اصلاح شده، کاستیاکف اصلاحی تجدیدنظر شده و SCS توسط Zolfaghari و همکاران (۲۰۱۲) بر اساس داده‌های حلقه مضاعف بررسی و نتیجه‌گیری شد که مدل کاستیاکف اصلاح شده بهترین برازش را بر داده‌های مشاهده‌ای داشته و مدل SCS ضعیف‌ترین همبستگی را از خود نشان داده است.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** منطقه طرح شامل حوضه گنبد با مساحتی معادل ۴/۴۵ کیلومتر مربع در استان همدان واقع شده است. این حوضه در حد فاصل طول جغرافیایی  $48^{\circ} 41'$  تا  $48^{\circ} 43'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $34^{\circ} 34'$  تا  $34^{\circ} 42'$  شمالی واقع شده است. حوضه گنبد از سرشاخه‌های حوضه قره چای و در فاصله ۲۸ کیلومتری شهر همدان قرار گرفته است. متوسط ارتفاع حوضه ۲۲۵۴ متر و پائین‌ترین و بالاترین نقطه ارتفاعی به ترتیب ۲۰۹۰ و ۲۴۲۰ متر از سطح دریا است. بیشترین مساحت حوضه ارتفاعات ۲۱۰۰ تا ۲۳۰۰ متر را در بر می‌گیرد و حدوداً معادل ۹۰ درصد مساحت حوضه است. متوسط شیب حوضه ۲۶/۸ درصد، متوسط بارندگی آن حدود ۴۳۲ میلی‌متر و از نظر اقلیمی در مرز نیمه خشک سرد و مدیترانه‌ای قرار گرفته است و متوسط درجه حرارت آن ۹/۸ درجه سلسیوس است. شکل ۱ موقعیت حوضه گنبد را در سطح ایران نشان می‌دهد.

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 کاستیاکف 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 است.

پژوهش‌های وسیع گذشته در مقایسه و ارزیابی مدل‌های نفوذ با داده‌های مشاهده‌ای حلقه مضاعف نشان می‌دهند که هر کدام از مدل‌ها در شرایط مختلف رفتار متفاوتی از خود نشان داده و نیز هر کدام از این مدل‌ها خود در شرایطی بر بقیه برتری داشته است. از آنجایی که این پژوهش‌ها عمدتاً در اراضی زراعی متمرکز بوده و کمتر اراضی مرتعی را در بر دارد، لذا در پژوهش حاضر، شش مدل شامل فیلیپ، هورتن، گرین-آمپ، SCS، کاستیاکف و لوئیس-کاستیاکف بر اساس داده‌های حلقه مضاعف در اراضی مرتعی مورد بررسی قرار گرفته و نیز پارامترهای آن‌ها ارزیابی شده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه گنبد در استان همدان

۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. سپس، در محیط GIS با روی هم-گذاری این چهار لایه، مناطق همگن از نظر یکنواختی این عوامل تعیین شد. بر اساس مناطق فوق، چهار

در این پژوهش، ابتدا در سطح حوضه گنبد (محدوده شکل ۱) نقشه شیب، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی حوضه با مقیاس

کاستیاکف، فیلیپ و لوئیس-کاستیاکف بوده که معرفی هر کدام بطور خلاصه در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱- وضعیت پوشش واحدهای همگن مورد بررسی

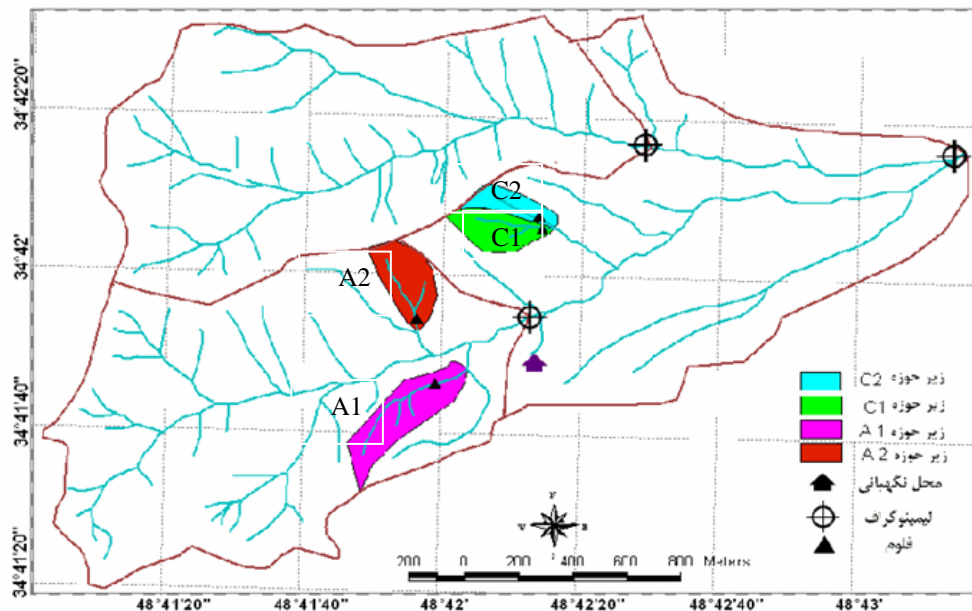
نام زیرحوضه	درصد پوشش گیاهی	درصد لاشبرگ، خاک لخت
A1	۴۲/۲	۵۷/۸
A2	۲۳/۶	۷۶/۴
C1	۳۴	۶۶
C2	۳۰/۵	۶۹/۵

واحد هیدرولوژیکی همگن به‌عنوان نمونه بر اساس شیب، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی تعیین شد. جداول ۱ و ۲ به‌ترتیب وضعیت پوشش گیاهی و بافت خاک و شکل ۲ موقعیت واحدهای همگن هیدرولوژیکی را در حوضه گنبد نشان می‌دهند. اندازه‌گیری نفوذ در هر واحد همگن انجام شد. بدین منظور سرعت نفوذ آب در خاک با روش استاندارد مضاعف از طریق آزمایش نفوذ بر اساس استاندارد آمریکا (۱۹۹۸) و نشریه ۲۴۳ وزارت نیرو و سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۰)، اندازه‌گیری شد. **مدل‌های مورد استفاده:** مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل مدل گرین-آمپ، هورتن، SCS،

جدول ۲- ویژگی‌های خاک واحدهای همگن در محدوده عمق ۳۰ سانتی‌متری سطحی\*

نام واحد همگن	درصد مواد خنثی شونده	درصد رس	درصد لای	درصد شن	بافت خاک
A1	۱/۵	۲۷	۴۶	۲۷	CL-L
A2	۳	۱۶/۵	۳۵	۴۸	L
C1	۱۸	۱۸/۳	۳۵	۴۶	L
C2	۱/۱	۱۸/۲	۴۱	۴۱	L

\* CL-L لومی-رسی، L لومی



شکل ۲- موقعیت واحدهای همگن هیدرولوژیکی در حوضه گنبد

جدول ۳- معرفی مدل‌های مورد بررسی

مدل	رابطه	توضیح پارامترها
گرین-آمپ	$f = (A/F) + B$	$f$ سرعت لحظه‌ای نفوذ، $F$ نفوذ تجمعی، $A$ و $B$ پارامترهای مدل
هورتن	$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$	$f$ سرعت لحظه‌ای نفوذ، $f_0$ سرعت نفوذ اولیه، $f_c$ سرعت نهایی نفوذ، $K$ ضریب خاک، $t$ زمان از شروع نفوذ
SCS	$F = at^b + 0.6985$	$F$ نفوذ تجمعی، $t$ زمان از شروع نفوذ (دقیقه) و $a$ و $b$ ضرایب خاک
کاستیاکف	$F = at^b$	$F$ نفوذ تجمعی، $a$ و $b$ ضرایب تجربی
فیلیپ	$f = 0.5St^{-1/2} + A$	$f$ سرعت لحظه‌ای نفوذ، $S$ اثر جذبی خاک، $A$ پارامتر اثر ثقلی و تابعی از هدایت هیدرولیکی خاک در شرایط اشباع و $t$ زمان از شروع نفوذ
لوئیس-کاستیاکف	$f = abt^{p-1} + C$	$f$ سرعت لحظه‌ای نفوذ، $t$ زمان از شروع نفوذ، $a$ و $b$ ضرایب تجربی و مشابه پارامترهای مدل کاستیاکف و $C$ نفوذ نهایی و مقدار آن ثابت است.

### نتایج و بحث

است. همچنین، میانگین خطای این مدل به استثناء زیر حوضه C2 در بقیه زیر حوضه‌ها پایین و بین ۰/۱۵۷ تا ۰/۳۴۷ است، که نشان دهنده بیش‌برآورد است. مدل گرین-آمپ دارای همبستگی بالا (بین ۰/۸۵۶ الی ۰/۹۷۸) و میانگین خطای پایین (بین ۰/۰۰۱- تا ۳/۱۵-) است، که نیز نشان از کم‌برآورد است. همچنین، میانگین جذر مربعات خطای این مدل بین ۱/۸۶ تا ۳/۸ است، که در مرتبه چهارم قرار می‌گیرد. مدل لوئیس-کاستیاکف اگرچه دارای ضریب همبستگی بالایی است، ولی از میانگین خطا و میانگین جذر مربعات خطای بالایی برخوردار است. میزان خطای این مدل نیز در راستای بیش‌برآوردی است. مدل هورتن در بین شش مدل منتخب دارای بیشترین خطا و کمترین همبستگی است. همچنین خطای برآورد مدل هورتن بیشتر در راستای کم-برآوردی است.

بررسی روابط بین پارامترهای هر مدل با مشخصه‌های خاک نیز مورد توجه قرار گرفت. بدین منظور، درصد شن و درصد رس هر محل به عنوان پارامترهای خاک انتخاب و روابط همبستگی دو متغیره هر کدام از پارامترهای مدل با این دو عامل تعیین شد. جداول ۶ الی ۱۱ روابط به‌دست آمده و ضرایب همبستگی مربوطه را نشان می‌دهند. نتایج ارائه شده در جدول ۶ بیانگر آن است که پارامترهای  $S$  و  $A$  در مدل فیلیپ وابستگی بالایی با مشخصه‌های بافت خاک دارند. ضریب همبستگی این پارامترها با درصد شن و درصد رس به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۶۶ با سطح معنی‌دار ۹۵

محاسبه پارامترهای شش مدل بر اساس داده‌های مشاهده‌ای نفوذ در هر کدام از چهار واحد هیدرولوژیکی انجام شد. علاوه بر این پارامترها، ضریب همبستگی داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی هر کدام از مدل‌ها نیز تعیین شد. جدول ۴ نتایج محاسبه پارامترهای مدل‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس پارامترهای به‌دست آمده برای هر مدل مقادیر نفوذ محاسبه شد. سپس، براساس معیارهای سه‌گانه منتخب مقادیر محاسباتی هر مدل با مقادیر مشاهده‌ای مورد سنجش قرار گرفت. جدول ۵ ضریب همبستگی، میانگین خطا و میانگین جذر مربعات خطای مدل‌های مختلف بر اساس داده‌های مشاهده‌ای در هر کدام از زیر حوضه‌های چهار گانه نشان می‌دهد. جدول ۵ نشان می‌دهد که مدل فیلیپ در هر چهار حوضه دارای ضریب همبستگی بالا (بین ۰/۹۷۵ تا یک)، میانگین خطای پایین (بین صفر تا ۰/۰۱۷-) و میانگین جذر مربعات خطای پایین (بین صفر تا ۰/۲۲) است.

مدل کاستیاکف نیز دارای ضریب همبستگی بالا (بین ۰/۹۴۵ تا یک)، میانگین خطا بین ۰/۰۰۳ تا ۹/۳- و میانگین جذر مربعات خطا بین ۰/۱ تا ۱۴/۲۵ بجز در زیر حوضه C2 بعد از مدل فیلیپ بهترین برآورد را از مقادیر مشاهده‌ای داشته است. مدل SCS با ضریب همبستگی بین داده‌های حاصل از محاسبات مدل و داده‌های مشاهده‌ای در حدفاصل ۰/۹۵۴ تا ۰/۹۹۹ بعد از مدل فیلیپ دارای بیشترین همبستگی

به بافت خاک است. همچنین، جدول ۸ نیز نشان می‌دهد که پارامترهای fo-fc و k در مدل هورتن وابستگی بالایی با مشخصه‌های بافت خاک دارند. ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۶۵۴ و ۰/۹۹ نشان دهنده وابستگی بیشتر پارامتر k نسبت به متغیر fo-fc به بافت خاک است.

درصد نشان دهنده وابستگی بیشتر پارامتر A نسبت به پارامتر S به بافت خاک است. جدول ۷ نشان می‌دهد که پارامترهای A و B در مدل گرین-آمپ وابستگی بالایی با مشخصه‌های بافت خاک دارا است. ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۵۹۴ و ۰/۹۵ نشان دهنده وابستگی بیشتر پارامتر B نسبت به پارامتر A

جدول ۴- پارامترهای مدل‌های نفوذ در زیر حوضه‌های مورد مطالعه

مدل	ضرایب	فیلیپ		هورتون		گرین-آمپ		کاستیاکف		لوئیس-کاستیاکف		SCS	
		S	A	K	Fo-Fc	A	B	a	b	a	b	a	b
A1	۱۱/۲	۵۱/۳	۱۱/۲	۴۰	۱۱/۲	۱۲/۳۹	۱۴/۷	۰/۷۹	۰/۵۶	۷۶	۰/۴۵	۱۰	۰/۲۷
A2	۱/۰۳	۱۵۵	۲۹/۵	۰/۰۲۲	۲۹/۵	۸۳/۷	۵/۰۵	۰/۵۲	۱/۲۹۶	۴۱۴	۰/۲۴	۵/۷	۰/۷۵
C1	۱/۶۴	۷۰/۶	۱۴/۳	۰/۰۲۱	۱۴/۳	۱۸/۵	۳/۸۶	۰/۵۶۸	۰/۵۹۷	۲۴۶	۰/۲۱	۳/۴	۰/۰۵۵
C2	۰/۷۸	۴۹/۶	۹/۸۳	۰/۰۲۱۸	۹/۸۳	۹/۹۱	۱/۶۴	۰/۵۴۸	۰/۴۱۶	۱۷۵	۰/۲۱	۲/۱	۰/۰۳۱
بیشینه	۱۱/۲	۱۵۵/۲	۲۹/۵	۰/۰۲۲	۲۹/۵	۸۳/۷	۱۴/۷	۰/۷۹۵	۱/۲۹۶	۴۱۴	۰/۴۵	۱۰	۰/۷۵
کمینه	۰/۷۷۷	۴۹/۶	۹/۸۳	۰/۰۱۴	۹/۸۳	۹/۹۱	۱/۶۴	۰/۵۲۲	۰/۴۱۶	۷۶	۰/۲۱	۲/۱	۰/۰۳۱
میانگین	۳/۶۷	۹۴/۵	۱۶/۲	۰/۰۲	۱۶/۲	۳۱/۱	۶/۳	۰/۶۰۸	۰/۷۱۶	۲۲۸	۰/۲۷۷	۵/۳	۰/۲۷۷

جدول ۵- مقادیر ضریب همبستگی (R)، میانگین خطا (ME) و میانگین جذر مربعات خطا (RMSE) مدل‌های مختلف بر اساس داده‌های مشاهده‌ای

زیر حوضه	معیار	SCS	لوئیس-کاستیاکف	کاستیاکف	هورتن	فیلیپ	گرین-آمپ
A1	R	۰/۹۹۹	۰/۹۵۱	۰/۹۹۸	۰/۶۷۶	۰/۹۷۵	۰/۸۵۶
	ME	۰/۳۴۷	۰/۳۶۲	-۰/۱۵۴	-۱/۳۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۱
	RMSE	۱/۰۰	۲/۶۲	۱/۰۳	۳/۴۷	۱/۳۵	۲/۸۷
A2	R	۰/۹۹۴	۰/۹۷۳	۰/۹۹۴	۰/۶۶۴	۱/۰۰۰	۰/۹۷۸
	ME	۰/۳۱۰	۰/۹۴۵	۰/۰۰۳	-۲/۶۴۳	۰/۰۰۹	-۰/۰۰۵
	RMSE	۱/۰۳	۶/۳۲	۰/۸۰	۱۱/۱۱	۰/۲۹	۳/۷۴
C1	R	۰/۹۵۴	۰/۹۵۲	۱/۰۰۰	۰/۷۱۲	۰/۹۹۹	۰/۹۷۴
	ME	۰/۱۵۷	۰/۸۷۹	۰/۰۰۷	۱/۰۷۸	-۰/۰۱۷	-۰/۰۰۱
	RMSE	۱/۹۲	۴/۴۷	۰/۱۰	۴/۷۸	۰/۴۳	۱/۸۶
C2	R	۰/۹۹۵	۰/۹۵۶	۰/۹۴۵	۰/۶۹۵	۰/۹۹۹	۰/۹۴۶
	ME	-۸/۹۰۸	۰/۷۹۶	-۹/۲۹۶	-۰/۷۸۶	-۰/۰۰۵	-۳/۱۴۸
	RMSE	۱۳/۰۸	۳/۲۲	۱۴/۲۵	۳/۴۳	۰/۲۲	۳/۸۰

جدول ۶- روابط و ضرایب همبستگی (R) پارامترهای مدل فیلیپ با درصد رس و درصد شن خاک

پارامتر	رابطه همبستگی (Cl درصد رس و Sa درصد شن)	R
S	$S = -690 + 6.76Sa + 16.5Cl$	۰/۴۲
A	$A = -35.1 + 0.22Sa + 1.48Cl$	۰/۹۹

جدول ۷- روابط و ضرایب همبستگی (R) پارامترهای مدل گرین-آمپ با درصد رس و درصد شن خاک

پارامتر	رابطه همبستگی (Cl درصد رس و Sa درصد شن)	R
A	$A = -284 + 4.9Sa + 5.8Cl$	۰/۵۹۴
B	$B = -64 + 0.61Sa + 2.3Cl$	۰/۹۵

این پارامترها با مشخصه‌های بافت خاک است. ضریب همبستگی پارامترهای مدل (a و b) به ترتیب ۰/۵۸۵ و ۰/۹۹۹۷ با سطح معنی‌دار ۹۰ و ۹۵ درصد نشان دهنده وابستگی بسیار بالا و بیشتر پارامتر b نسبت به پارامتر a به بافت خاک است. پارامتر b این مدل در بین پارامترهای مدل‌های مختلف بیشترین همبستگی را با درصد رس و درصد شن موجود در بافت خاک داشته است. جدول ۱۱ نشان می‌دهد که هر سه پارامتر مدل لوئیس-کاستیاکف با درصد رس و درصد شن خاک همبستگی نسبتاً بالایی دارا است.

نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که پارامتر k را با دقت بیشتری می‌توان بر اساس بافت خاک هر منطقه محاسبه نمود. جدول ۹ که روابط پارامترهای مدل SCS را نشان می‌دهد، همبستگی ضعیف این متغیرها را با مشخصه‌های بافت خاک تأیید می‌کند. ضریب همبستگی دو پارامتر a و b این مدل با درصد رس و درصد شن به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۳۵ است و در بین روابط به دست آمده ضعیف‌ترین رابطه همبستگی را دارا بوده است. جدول ۱۰ که روابط پارامترهای مدل کاستیاکف را نشان می‌دهد، بیان‌گر همبستگی بالایی

جدول ۸- روابط و ضرایب همبستگی (R) پارامترهای مدل هورتن با درصد رس و درصد شن خاک

پارامتر	رابطه همبستگی (CI درصد رس و Sa درصد شن)	R
fo-fc	$fo - fc = -95 + 1.65Sa + 2.22Cl$	۰/۶۵۴
k	$k = 0.042 - 6.3 \times 10^{-5} Sa - 9.9 \times 10^{-4} Cl$	۰/۹۹۱

رابطه همبستگی دو متغیره نشان می‌دهد که مدل فیلیپ در کل برای دسته پارامترهای خود بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد و در مراتب بعدی مدل هورتن و کاستیاکف قرار دارند. همچنین، نتایج جداول ۶ تا ۱۱ نشان می‌دهد که به‌طور کلی پارامتر A در مدل فیلیپ، B در مدل گرین-آمپ، k در مدل هورتن، b در مدل کاستیاکف و نیز b در مدل لوئیس-کاستیاکف از همبستگی بالایی با پارامترهای بافت خاک برخوردار هستند. همچنین نتایج جداول فوق نشان می‌دهد که هر دو پارامتر مدل SCS دارای همبستگی ضعیفی با درصد رس و درصد شن نسبت به پارامترهای سایر مدل‌های یادشده دارا هستند.

جدول ۹- روابط و ضرایب همبستگی (R) پارامترهای مدل SCS با درصد رس و درصد شن خاک

پارامتر	رابطه همبستگی (CI درصد رس و Sa درصد شن)	R
a	$a = -2.68 + 0.04Sa + 0.066Cl$	۰/۳۲
B	$b = 2.997 - 0.028 Sa - 0.046Cl$	۰/۳۵

پارامترهای a، b و c این مدل به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۸۸۱، ۰/۹۶ و ۰/۸۶۵ در سطح معنی‌داری ۹۰، ۹۵ و ۹۰ درصد با دو متغیر فوق است. بنابر این، ضریب b دارای همبستگی بیشتری نسبت به دو پارامتر دیگر است.

با این وصف، مقایسه ضرایب همبستگی پارامترهای شش مدل با درصد رس و شن در یک

جدول ۱۰- روابط و ضرایب همبستگی (R) پارامترهای مدل کاستیاکف با درصد رس و درصد شن خاک

پارامتر	رابطه همبستگی (CI درصد رس و Sa درصد شن)	R
a	$a = -4.2 + 0.0716Sa + 0.1035Cl$	۰/۵۸۵
b	$b = -0.215 + 0.0037Sa + 0.0337Cl$	۰/۹۹۹۷

جدول ۱۱- روابط و ضرایب همبستگی (R) پارامترهای مدل لوئیس-کاستیاکف با درصد رس و درصد شن خاک

پارامتر	رابطه همبستگی (CI درصد رس و Sa درصد شن)	R
a	$a = -1008 + 21.75Sa + 17.8Cl$	۰/۸۸۱
b	$b = 0.449 - 0.0033Sa - 0.0297Cl$	۰/۹۶
c	$c = -41.2 + 0.43Sa + 1.44Cl$	۰/۸۶۵



## نتیجه‌گیری

در این پژوهش شش مدل نفوذ شامل فیلپ، هورتن، گرین-آمپ، SCS، کاستیاکف و لوئیس-کاستیاکف بر اساس داده‌های حلقه مضاعف در چهار واحد همگن هیدرولوژیک حوضه گنبد استان همدان مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای هر مدل محاسبه و ارزیابی شد. نتایج این بررسی نشان داد مدل فیلپ در شرایط بافت خاک لومی و لومی-رسی هر چهار زیر حوضه انتخابی برازش مناسب‌تری را با داده‌های مشاهده‌ای حلقه مضاعف داشته است.

همچنین، در سه زیر حوضه با بافت خاک لومی مدل کاستیاکف بعد از مدل فیلپ بر اساس سه معیار ضریب همبستگی، میانگین خطا و میانگین جذر مربعات خطا دارای برازش بهتری نسبت به چهار مدل دیگر بوده است. مدل SCS در مرتبه سوم، مدل گرین-آمپ در مرتبه چهارم، مدل لوئیس-کاستیاکف در مرحله پنجم و مدل هورتن با حداقل همبستگی و حداکثر میانگین خطا و میانگین جذر مربعات خطا در مرتبه آخر و ششم قرار گرفته است.

همچنین، دو مدل هورتن و گرین-آمپ دارای برآورد کمتر از حد و مدل‌های SCS و لوئیس-کاستیاکف دارای برآورد بیش از حد می‌باشند. مدل فیلپ با خطایی اندک دارای برآورد کمتر از حد، و مدل کاستیاکف در دو مورد دارای بیش‌برآورد و در دو مورد دارای کم‌برآورد است. این نتایج با نتایج Raouf و همکاران (۲۰۰۹)، Arab و همکاران (۲۰۱۴)، Mohamadi و Refahi (۲۰۰۵)، Naderianfar و همکاران (۲۰۱۳)، Vaghefi و Movahedizadeh (۲۰۱۴)، Van De Genachte و همکاران (۱۹۹۶)، Karami و همکاران (۲۰۱۲) و Mao و همکاران (۲۰۰۸)، مطابقت داشته، ولی با نتایج تحقیقات Abdulkadir و همکاران (۲۰۱۱)، Paixão و همکاران

(۲۰۰۹)، Ogbe و همکاران (۲۰۱۱)، Liu و همکاران (۲۰۱۱)، Dagadu (۲۰۱۱) و Nimbalkar (۲۰۱۲)، Clemmens (۱۹۸۳)، Naeth و همکاران (۱۹۹۱)، Idris و Igbadun (۲۰۰۷)، Rahimi (۲۰۱۱)، ejurkar و Rajurkar (۲۰۱۲)، Arab و همکاران (۲۰۱۴)، Moosavi و همکاران (۲۰۰۵)، Mohamadi و Refahi (۲۰۰۵)، Kavooosi و همکاران (۲۰۱۳)، Fakher Nikcheh و همکاران (۲۰۱۴) و Zolfaghari و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت ندارد.

نتایج بررسی رابطه همبستگی پارامترهای شش مدل مورد ارزیابی با درصد رس و شن به عنوان شاخص‌های بافت خاک نشان داد که پارامترهای مدل فیلپ در مجموع با همدیگر بیشترین همبستگی را با این شاخص‌ها دارا بوده و در کل حداقل یک پارامتر از هر مدل به استثناء مدل SCS دارای همبستگی بالا با این دو شاخص است. هر دو پارامتر مدل SCS در رابطه همبستگی دو متغیره با درصد رس و درصد شن همبستگی ضعیفی را نشان دادند.

با توجه به این که در مقیاس حوضه، اندازه‌گیری نفوذ مشکل و بعضاً امکان پذیر نیست، و با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که رابطه همبستگی پارامترهای مدل‌های نفوذ برای شرایط متفاوت بافت خاک و رطوبت پیشین برای حوضه‌های مختلف تعیین شود.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان انجام شده است. مطمئناً بدون حمایت آن دو مجموعه این تحقیق میسر نمی‌شد. لذا بدینوسیله از مسئولین و کارکنان این دو مؤسسه صمیمانه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

## منابع مورد استفاده

1. Abdulkadir, A., M.N. Wuddivira, N. Abdu, O.J. Mudiare. 2011. Use of Horton Infiltration Model in Estimating Infiltration Characteristics of an Alfisol in the Northern Guinea Savanna of Nigeria. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 1: 925-931.
2. American Society for Testing Materials (1998) Standard test method for particle analysis of soils. D422-63.

3. Arab A.I., O.J. Mudiare, M.A. Oyeboode and U.D. Idris. 2014. Performance evaluation of selected infiltration equations for irrigated (FADAMA) soils in Southern Kaduna Plain, Nigeria. *Basic Research Journal of Soil and Environmental Science*, 2(4):1-18.
4. Ayu, I.W., S. Prijono and Soemarno. 2013. Assessment of Infiltration Rate under Different Drylands Types in, Unter-Iwes Subdistrict Sumbawa Besar, Indonesia. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(10): 71-76.
5. Clemmens, A.J. 1983. Infiltration equations for border irrigation models. In: *Advances in infiltration, Proc. Nat. Conf. on Advances in Infiltration, Dec. 12-13, 1983, Chicago, Ill. ASAE Pub., I 1-83 St. Joseph MO.:* 266-274.
6. Dagadu, J.S. and P.T. Nimbalkar. 2012. Infiltration Studies Of Different Soils Under Different Soil Conditions And Comparison Of Infiltration Models With Field Data. *International Journal of Advanced Engineering Technology (IJAET)*, 3(2): 154-157.
7. Delleur, J.W. 2007. *The Handbook of Groundwater Engineering*. 2nd Edition, CRC Press, New York.
8. Diamond, J. and T. Shanley. 2003. Infiltration Rate Assessment Of Some Major Soils. *Irish Geography*, 36(1): 32- 46.
9. Fakhre Nikcheh, A., M. Vafakhah and S.H.R. Sadeghi. 2014. Evaluation of different cumulative infiltration model performance in different land use and soil texture, using rainfall simulator. *Journal of Water and Soil Knowledge*, 3(1): 183-193 (in Persian).
10. Francisco, J.R., D. Paixão, A.R.S. Andrade, A.V. Carlos, D. Azevedo, T.L. Costa and H.O.C. Guerra. 2009. Adjustment of the infiltration curve by different empirical models. *Pesquisa Aplicada and Agrotecnologia*, 2(1): 113-118.
11. Green, W.H. and G.A. Ampt. 1911. *Studies in soil physics. I. Flow of air and water through soils. J. Agr.Sci.* 4:1-24.
12. Horton, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Trans. Am. Geophys. Union.*, 14th Ann. Mtg: 446-460.
13. Igbadun, H.E. and U.D. Idris. 2007. Performance Evaluation of Infiltration Models in a Hydromorphic Soil. *Nig. J. Soil & Env. Res.*, 7: 53-59
14. Jejurkar, C.L. and M.P. Rajurkar. 2012. Infiltration studies for varying land cover conditions. *International Journal Of Computational Engineering Research (IJCER)*, 2(1): 72-76.
15. Karami, B., M. Golabi and K.N. Dhupal. 2012. Determination Coefficients of Infiltration Equations: Case Study of Shavoor Plain in Khuzestan Province. *International Journal of Applied Engineering Research*, 7(1): 55.69
16. Kavooosi, S.M., M. Vafakhah and M.H. Mahdian. 2013, Evaluation of some equations of infiltration of water into soil in different land use, Kojoor catchments. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 4(13): 1-13 (in Persian).
17. Kostiaikov, A.N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Transactions of 6th Congress of International Soil Science Society. Moscow:* 17-21.
18. Lewis, M.R. and W.E. Milne. 1938. Analysis of border irrigation. *Agric. Eng.*, 19(6): 267-272.
19. Liu, H., T.W. Lei, J. Zhao, C.P. Yuan, Y.T. Fan and L.Q. Qu. 2011. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the run off-on-out method. *Journal of Hydrology*, 396: 24-32.
20. Mao, LL, T.W. Lei, X. Li, H. Liu, X.F. Huang and Y.N. Zhang. 2008. A linear source method for soil infiltrability measurement and model representations. *Journal of Hydrology*, 353: 49- 58.
21. Mbagwu, J.S.C. 1994. Soil physical properties influencing the fitting parameters in Philip and Kostiaikov infiltration models. *International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy, MIRAMARE - TRIESTE, International Atomic Energy Agency and United Nation Educational Scientific and Cultural Organization, Internal Report (Limited Distribution), IC/94/97, p 16.*
22. Ministry of Energy and Iran Planning and Management Organization. 2001. *Standard guidelines infiltration rate into soil by double rings. Publication No. 243, Iran Planning and Management Organization Pub..*
23. Mohamadi, M.H. and H. Refahi. 2005. Estimation of infiltration parameters by physical characteristics of soil. *Journal of Agricultural Sciences*, 36(6): 1391-1398 (in Persian).
24. Moosavi, S.B., M.R. Nayshboori and V. Faizi Asl. 2005. Infiltration and determining of infiltration equations coefficients using double ring, rainfall simulator and sprinkler. *Journal of Agricultural Sciences*, 15(1): 79-91 (in Persian).
25. Naderianfar, M., B. Ghahreman, S.K.A. Sajadi, A Faalian and J. Mohamadi. 2013. Scaling and surveying spatial variations of water infiltration in to soil on basin scale in Marghak of Shahrekord. *Journal of Soil Researches*, 27(4): 605-618(in Persian).

26. Naeth, M.A., D.S. Chanasyk and A.W. Bailey. 1991. Applicability of the Kostiakov equation to mixed prairie and fescue grasslands of Alberta. *Journal of Range Management*, 44(1): 18-21.
27. Ogbe, V.B., O.J. Jayeoba and S.O. Ode. 2011. Comparison of Four Soil Infiltration Models on A Sandy Soil in Lafia. *Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria, PAT*, 7 (2): 116 -126.
28. Pachepsky, Y., D. Timlin and W. Rawls. 2003. Generalized Richards' equation to simulate water transport in unsaturated soils. *Journal of Hydrology*, 272: 3-13.
29. Philip, J.R. 1957a, The theory of infiltration. 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Science*, 83: 345-357.
30. Philip, J.R. 1958 The theory of infiltration. *Soil Science*, 85: 333-337.
31. Rahimi, A. 2011. Evaluation of soil infiltration in furrow irrigation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(11): 1542-1545.
32. Raouf. M., A.A. Sadraddini, A.H. Nazemi and S. Marofi. 2009. Estimating saturated and unsaturated hydraulic conductivity and sorptivity coefficient in transient state in sloping lands. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7 (3&4): 861- 864.
33. Richards, L.A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics 1 (5)*: 318-333.
34. Sonaje, N.P. 2013. Modeling of Infiltration Process – A Review. *Indian Journal of Applied Research*, 3(9): 226-230.
35. US Department of Agriculture, Natural Resources and Conservation Service. 1974. National engineering handbook section 15, border irrigation: Chapter 4, National Technical Information service, Washington, DC., USA.
36. Vaghefi, M. and M. Movahedizadeh. 2014. Evaluation and comparison of different infiltration models using double ring data in Mond-e-Dashti basin. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 4-15 (in Persian).
37. Van De Genachte, G., D. Mallants, J. Ramos, J.A. Deckers and J. Feyen. 1996. Estimating infiltration Parameters from basic soil properties. *Hydrol. Process*, 10: 687-701.
38. Walker, W.R. and G.V. Skogerboe. 1987. *Surface irrigation: Theory and practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
39. Zolfaghari, A.A., S. Mirzaee and M. Gorgi. 2012. Comparison of different models for estimating cumulative infiltration. *International Journal of Soil Science*, 7(3): 108-115.

## An investigation and evaluation of infiltration models in rangeland soil cover, case study: Gonbad basin in Hamedan Province

Jahangir Porhemmat<sup>\*1</sup> and Hadi Nazari-pooya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran and <sup>2</sup> Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Hamedan, Iran

Received: 14 May 2015

Accepted: 11 September 2015

### Abstract

Infiltration is one of the most important components of hydrologic cycle for utilization and management of water resources. This phenomenon is affected by several factors and its measurement is difficult. Therefore, several models have been introduced for the simulation of infiltration. Previous studies in evaluation of infiltration models show that each model can be preferred over others in a specific condition. Considering this fact, six infiltration models including Philip, Horton, Green-Ampt, SCS, Kostiakov and Luise-Kostiakov and their parameters were evaluated. Gonbad catchment in Hamedan province was selected and it was divided into four homogeneous hydrologic units. Then infiltration was measured during the dry season by double ring. The results showed that Philip model was the most accurate for estimating of the infiltration and Kostiakov model is also the second one. Regression coefficients of Philip model were between 0.975 to one, mean error -0.017 to +0.017 and the maximum root mean square error was 0.22. Regression coefficients of Kostiakov model were between 0.956 to 0.998, mean error -9.3 to +0.003 and the maximum root mean square error was 14.25. In addition, the correlation relations between parameters of these models and two soil texture indices were carried out. The findings show that except for SCS model, the other parameters correlate with these two indices in a 5% level and at least one parameter of each model has high correlation with them. Regression coefficient for A in Philip model, B in Green-Ampt, k in Horton, b in Kostiakov and b in Luise-Kostiakov were 0.99, 0.95, 0.99, 0.999 and 0.96 respectively. Results show a lower correlation between the other parameters and the percentage of clay and sand. Based on these results, it is suggested that the regression relations of models' parameters for different conditions of soil texture and antecedent moisture in a variety of basins should be evaluated and determined.

**Keywords:** Hydrologic homogen unit, Infiltration simulation, Model parameters, Soil moisture, Soil texture

---

\* Corresponding author: porhemmat@scwmri.ac.ir