مقایسه کارایی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک بر اساس داده‌های حاصل از استوانه‌های مضاعف در کاربری‌های مختلف اراضی(مطالعه موردی: حوزه آبخیز میخساز)

راضیه کجوری[۱]، محمدرضا جوادی[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵

چکیده

فرآیند نفوذ آب به خاک نقش بسیار مهمی در چرخه آبی در طبیعت دارد. اهمیت این پدیده منجر به تمرکز مطالعه محققین زیادی در این رابطه شده است تا اینکه بتوانند از طریق ارائه مدلی مناسب اقدام به برآورد آن نمایند. ازآنجا که انجام مطالعات نفوذ در عرصه، هزینه‌بر و مستلزم صرف زمان زیاد است، لذا از مدل‌های مختلف، جهت برآورد مقدار نفوذ استفاده می‌گردد که هر یک از این مدل‌ها در شرایط خاص، برازش مناسبی را با داده‌های تجربی از خود نشان می‌دهند. در پژوهش حاضر، ابتدا با استفاده از روش استوانه‌های مضاعف در کاربری‌های جنگلی، مرتعی و زراعی اقدام به اندازه‌گیری نفوذ در حوزه آبخیز میخساز شد. سپس داده‌های مقادیر نفوذ حاصل از مدل‌های کوستیاکوف، هورتون، گرین-آمپت، سازمان حفاظت خاک آمریکا و فلیپ با استفاده از ضریب کفایت ناش-ساتکلیف، ضریب تبیین و معیار میانگین خطا به منظور تشخیص مناسب‌ترین مدل برآورد نفوذ مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در کاربری زراعی؛ مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا(با میانگین R^2=۰/۸۹۰ و ME=۱/۸ و NSE=۰/۸۰۵)، در کاربری مرتعی؛ مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا(با میانگین R^2=۰/۹۲۷ و ME=۰/۸۳۷ و NSE=۰/۹۳۶) و در کاربری جنگلی مدل فلیپ(با میانگین R^2=۰/۹۹۱ و ME=۰/۹۴۶ و NSE=۰/۸۹۳) به‌عنوان مناسب‌ترین مدل در تعیین برآورد مقادیر نفوذ معرفی گردیدند.

کلمات کلیدی: حوره آبخیز میخساز، جنگل، مرتع، نفوذپذیری، مدل‌های برآورد نفوذ.

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی،نور.ایران.

۲ استادیار، گروه منابع طبیعی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور.ایران. (نویسنده مسئول مکاتبات: Javadi.desert@gmail.com

مقدمه

تخریب خاک در سطح جهان، ۱/۹ میلیارد هکتار از اراضی را تحت تاثیر قرار می‌دهد که این مقدار هر ساله نیز به میزان ۵ تا ۷ میلیون هکتار افزایش می‌یابد(۶). امنیت غذایی از جمله نگرانی‌های اصلی بشر و جوامع انسانی در قرن حاضر می‌باشد. بر اساس گزارشات سازمان ملل، طی مدت زمان ۱۹۹۵ تا ۲۰۵۰، جمعیت جهان در حدود ۶۵ درصد افزایش می‌یابد و بیشترین رشد جمعیتی را درکشورهای در حال توسعه شاهد خواهیم بود(۶). به منظور تامین مایحتاج و نیاز غذایی این میزان جمعیت، مقدار تولید بایستی افزایش یابد. بالا بردن میزان تولید از طریق افزایش سطح زیر کشت آن صورت می‌گیرد(۹). برای رسیدن به این هدف بایستی بتوان افزایش تولید را در حالتی پایدار نگه داشت، لذا لازم و ضروریست تا به طور همزمان از تخریب اراضی، هدر رفت و میزان آلودگی خاک و آب، جلوگیری نمود(۲).

از جمله راههای جلوگیری از تخریب اراضی و هدر رفت منابع آب و خاک، شناخت فرآیندها و روابط اساسی و بنیادی در روابط آب و خاک است(۱۶). فرآیند نفوذ آب به خاک از مهم‌ترین اجزا و مولفه چرخه هیدرولوژیک در طبیعت است و مقدار آبی که به خاک نفوذ می‌کند با فرآیند توزیع مجدد آب در بخش غیر اشباع خاک ارتباط تنگاتنگی دارد(۱۵). فرآیند ورود آب از سطح به درون خاک اصطلاحا نفوذ نامیده می‌شود و نفوذپذیری که در جهت سهولت، نفوذ قائم آب به درون خاک را بیان می‌دارد یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های خاک در زمینه آبیاری محسوب می‌گردد(۱۳). نفوذ، به عنوان یک مکانیسم مهم در علوم خاک؛ نه تنها کنترل ورود آب به خاک را برعهده دارد بلکه نحوه توزیع مجدد آب در خاک و حتی آب‌های عمیق نفوذ یافته به آب‌های زیرزمینی را نیز شامل می‌شود(۱۶). مقدار نفوذ آب در خاک، تابع عوامل مختلفی من جمله بافت و ساختمان خاک، پوشش گیاهی، شیب سطح زمین، قابلیت پراکندگی ذرات سطح خاک و..... بوده و تغییرپذیری زمانی و مکانی آن‌ها منجر به تفاوت در مقادیر نفوذ در خاک‌های مختلف می‌گردد(۱). نفوذ آب به داخل خاک به عنوان فرآیند اولیه‌ی ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیراشباع خاک مطرح می‌باشد. این فرآیند یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی بوده(۱۴) وکمّی نمودن این پدیده در مدیریت حوزه‌های آبخیز از اهمیت به سزایی برخوردار است(۲۰) زیرا با دانستن مقدار نفوذ در هر حوضه، می‌توان مقدار آب خروجی از آن را با دقت بیشتری تخمین زده و از خسارات احتمالی وارده در زمان وقوع سیل در مناطق مختلف جلوگیری نمود(۳۴). نفوذپذیری خاک نیز تابع عوامل متعددی از قبیل خصوصیات خاک، نوع کاربری اراضی و تغییرات نیمرخ لایه‌های سطحی آن است و می‌تواند از نقطه‌ای به نقطه دیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد(۴۴). در این بین، نوع کاربری اراضی نیز با تاثیر بر فرآیند نفوذ آب به خاک، نقش مهمی را در مدیریت بحران خشکسالی، حفاظت خاک و کنترل رواناب و سیل می‌تواند از خود نشان دهد. کاربری اراضی از طرق مختلف من جمله تغییر ویژگی‌های سطح خاک و هندسه منافذ خاک، بر نفوذ آب به خاک تاثیر می‌گذارد (۲۵). در کاربری‌های اراضی مختلف، از یک طرف خصوصیات فیزیکی و مقدار جریان عبوری در خاک و در نتیجه هدایت هیدرولیکی تحت تاثیر قرار می‌گیرد و از طرف دیگر نیز مقدار رطوبت باقی

مانده در خاک را در مکش‌های مختلف دچار تغییرات می‌نماید(۲۵). خصوصیاتی از خاک؛ نظیر بافت خاک، ساختمان خاک، میزان مواد آلی، مدیریت و نوع لایه‌های خاک در کاربری‌های مختلف اراضی علاوه بر مقدار نفوذ، بر میزان نفوذپذیری نیز تاثیرگذار می‌باشند(۱۱). علاوه بر این، اعمال شیوه‌های مختلف مدیریتی در کاربری‌های مختلف اراضی نیز با ایجاد بهم‌خوردگی سطح خاک و اثر بر میزان پوشش گیاهی، تاثیر زیادی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی خاک دارد(۵).

نفوذ آب به خاک در مباحث مدیریت منابع آب؛ نظیر آبیاری و تغذیه آبهای زیرزمینی، طراحی سازه‌های زهکشی[مانند تونل‌های زهکشی در مناطق شیب‌دار، کانالهای‌های زهکشی جاده‌ها و سیستم‌های تخلیه آب مراکز نگهداری زباله‌ها] (۳۸) و همچنین در مباحث علوم آب و خاک؛ نظیر برآورد رواناب سطحی و.... مورد استفاده قرار می‌گیرد(۴۵).

نفوذ آب به داخل خاک به روش‌های مختلفی نظیر کرت‌های کوچک، ورودی- خروجی جریان، و استوانه‌های مضاعف می‌تواند مورد اندازه‌گیری قرار گیرد(۲۸). تاکنون مدل‌های فیزیکی و تجربی مختلفی به منظور کمّی‌سازی پدیده نفوذ ارائه شده است(۳۸). مهم‌ترین مزیت مدل‌های فیزیکی این است که بر اساس قوانین فیزیکی بنانهاده شده‌اند(۳۳) و با در اختیار داشتن برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک، معادله نفوذ قابل حل خواهد بود(۳۶). از جمله این مدل‌ها عبارت از مدل گرین- آمپت[1](۱۹۱۱) و مدل فلیپ[2](۱۹۷۵) می‌باشند. از سویی دیگر مدل‌های تجربی، مواردی مبتنی بر ترسیم منحنی بین سرعت نفوذ و زمان تحلیل شده و ویژگی‌های فیزیکی خاصی از خاک را در برنمی‌گیرند(۳۷) از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل هورتن[3] (۱۹۴۰)، کوستیاکوف[4](۱۹۳۲) و کوستیاکوف-لوییز(۱۹۴۸) اشاره نمود که از مهم‌ترین خصوصیت آن‌ها دقت بالای آن‌ها به‌دلیل مدنظر قرار دادن شرایط و عوامل موثر در فرآیند نفوذ می‌باشد(۱۵). در طی سنوات گذشته مطالعات متعددی در ارتباط با ارزیابی مدل‌های مختلف نفوذ در نقاط مختلف دنیا و در شرایط مختلف(توپوگرافی و خاکی) صورت گرفته است که نتایج مختلفی را درپی داشته است.

ارزیابی حساسیت مدل‌های برآورد نفوذ نسبت به تغییرپذیری رطوبت خاک در مطالعه‌ای توسط سپهوند و همکاران(۱۳۹۰) صورت پذیرفت و مشخص شد که از بین مدل‌های فلیپ،گرین-آمپت اصلاح شده، هورتن، کوستیاکوف و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا(SCS)، مدل کوستیاکوف در سطوح مختلف رطوبتی خاک، مقدار نفوذ بالاتری را برآورد کرده است. همچنین معین شد که در مجموع، مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی از کمترین حساسیت به تغییر سطوح رطوبتی برخوردار بوده و پس از آن، مدل فلیپ قرار داشته است. طی تحقیقی، ارزیابی و تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ(سازمان حفاظت خاک آمریکا، فلیپ و کوستیاکف) در دشت اشترینان مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که مدل کوستیاکوف با متوسط خطای نسبی ۸ درصد، مناسب‌ترین مدل

[1] -Green-Ampt
[2] -Philip
[3] -Horton
[4]- Kostiakov

برای برآورد میزان نفوذ تجمعی در اراضی مورد مطالعه بوده است(۲۳). در پژوهشی دیگر، عملکرد مدل‌های مختلف برآورد نفوذ تجمعی درکاربری‌ها و بافت‌های مختلف خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران توسط فاخر نیکچه و همکاران(۱۳۹۳) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتیجه گرفته شد که به‌طورکلی مدل‌های تجربی(کوستیاکوف، هورتون و سازمان حفاظت خاک آمریکا) در این رابطه، عملکرد واقع‌بینانه‌تری را در برآورد مقادیر نفوذ تجمعی نسبت به مدل‌های بر پایه فیزیکی(مدل گرین-آمپت، فلیپ) از خود نشان داده‌اند. پرهمت و نظری پویا(۱۳۹۵) در مطالعه خود، مدل‌های برآورد نفوذ در اراضی مرتعی استان همدان را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل فلیپ و سپس کوستیاکوف نفوذ آب در خاک را با دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برآورد کرده‌اند. در پژوهشی دیگر، کارایی مدل‌های برآورد نفوذ در خاک در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه آبخیز تهم‌چای توسط واعظی و صالحی(۱۳۹۹) مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که با توجه به همبستگی بالای مدل‌های کوستیاکوف و فلیپ با داده‌های اندازه‌گیری شده، این دو مدل توانایی بیشتری برای پیش‌بینی شدت نفوذ در کاربری‌های مختلف زمین را در منطقه مورد نظر از خود نشان داده‌اند. هسو و همکاران[1](۲۰۰۲) در تحقیقی کارایی سه مدل نفوذ شامل فلیپ،گرین-آمپت و هورتن در چند نوع خاک را مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند که مدل گرین-آمپت عملکرد بهتر و دقیقتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. در مطالعه‌ای، عملکرد مدل‌های نفوذ کوستیاکف، هورتن، هولتان، فلیپ و گرین-آمپت در برآورد سرعت نفوذ اندازه‌گیری شده به روش باران مصنوعی در خاک‌های با بافت لومی‌شنی تا رسی شنی و با شیب یک تا پنج درصد در مناطق ساحلی مالبرو و مریلند آمریکا توسط شوکلا و همکاران[2](۲۰۰۳) مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که مدل‌های گرین-آمپت، هولتان، فلیپ،کوستیاکف و هورتن به ترتیب در رتبه‌های اول تا پنجم ارزیابی قرار داشتند. در پژوهشی دیگر نیز، مدل‌های کوستیاکوف و فلیپ در تیمارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و بیان شد که مدل فلیپ با ضریب تبیین ۹۹ درصد در زمین‌های پوشیده از علف(گراس) نسبت به مدل کوستیاکوف با ضریب تبیین ۹۷ درصد مدل برتری بوده است. همچنین در زمین‌هایی تحت کودهای آلی، مدل فلیپ با ضریب تبیین ۹۹ درصد در مقایسه با مدل کوستیاکوف با ضریب تبیین ۹۷ درصد کارایی بهتری داشته است(۴۱). در طی تحقیقی تحت عنوان بررسی کارایی برخی مدل‌های نفوذ در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده به وسیله استوانه‌های دوگانه که توسط باموتاز و همکاران[3](۲۰۱۰) به انجام رسید مشخص گردید که مدل‌های فلیپ و کوستیاکوف برآورد بهتری از نفوذ تجمعی آب به خاک نسبت به مدل‌های هورتن و گرین-آمپت داشتند. در مطالعه‌ای دیگر، چهار مدل برآورد نفوذ آب در خاک، شامل کوستیاکوف، هورتن، فلیپ و تالسما-پارلانچ توسط عرب و همکاران[4](۲۰۱۴) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه نتایج حاصل از این مدل‌ها با داده‌های حاصل از استوانه‌های مضاعف مورد مقایسه قرار

[1] -Hsu et al
[2] -Shukla et al
[3]- Bamutaz et al
[4] -Arab et al

داده شد و بیان گردید که به ترتیب دو مدل کوستیاکوف و فلیپ دارای برآورد مناسبی از نفوذ مشاهده‌ای حاصل از استوانه دوگانه نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی بوده‌اند. پاتیل و همکاران[1](۲۰۱۸) در پژوهشی به ارزیابی عملکرد برخی مدل‌های برآورد نفوذ در خاک در مناطق مختلف کشاورزی در منطقه نیشیک هندوستان پرداختند و بیان داشتند که مدل نفوذ کوستیاکوف نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی عملکرد بهتری را از خود نشان داده است. با توجه به مطالب مطرح شده در بالا، هدف از این پژوهش تعیین مناسب‌ترین مدل برآورد نفوذ آب به خاک در حوزه آبخیز میخساز با توجه به مدل‌های منتخب مورد بررسی بوده است

مواد و روشها

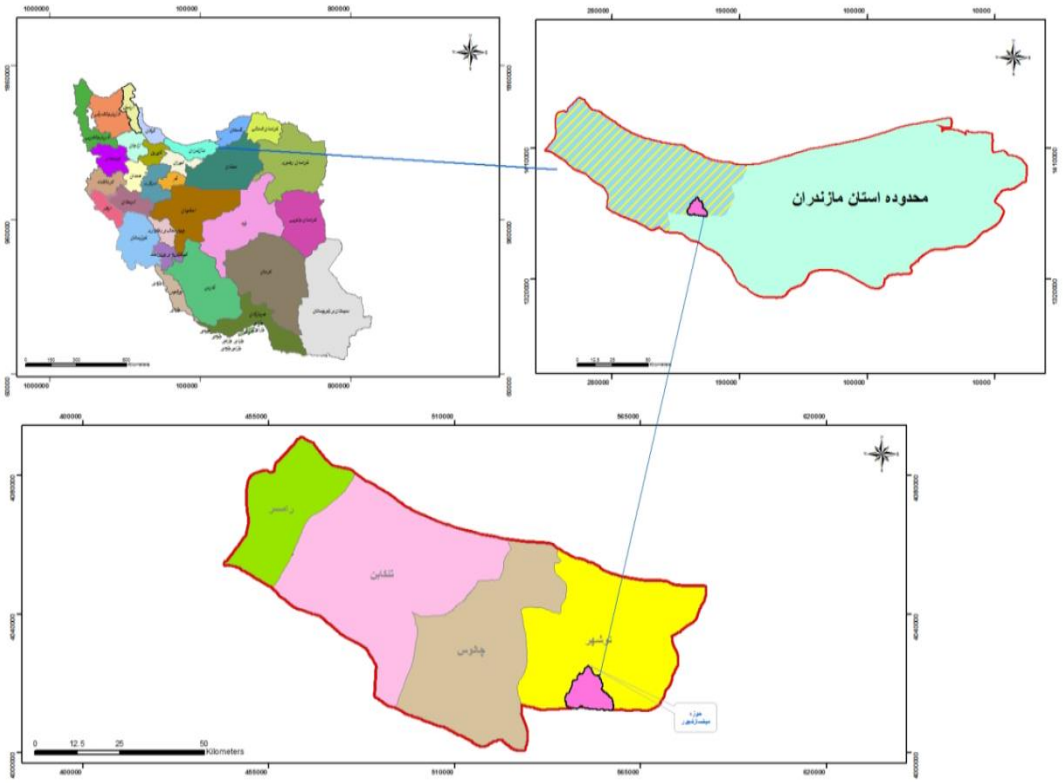
ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز میخساز کجور با وسعتی معادل ۱۱۱۹۱/۱ هکتار یکی از زیرحوزه‌های رودخانه چالوس‌رود می‌باشد که در سرشاخه هنیسک‌رود (بخش کجور) واقع بوده و به لحاظ تقسیمات سیاسی تقریباً در قسمت غرب استان مازندران، و در فاصله حدود ۶۳ کیلومتری جنوب شهرستان نوشهر قرارد دارد. این محدوده از توابع بخش کجور و دهستان زانوس رستاق بوده و از نظر تقسیمات منابع طبیعی نیز جزء حوزه استحفاظی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- نوشهر می‌باشد(۲۲).

از نظر مختصات جغرافیایی، منطقه مورد مطالعه در طول جغرافیایی ″۲۳/۷ ′۲۸ °۵۱ تا ″۱۵/۷ ′۳۸ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ″۳/۹ ′۱۵ °۳۶ تا ″۱۲/۷ ′۲۲ °۳۶ شمالی واقع گردیده است. همچنین مختصات آن در سیستم تصویر UTM در زون ۳۹ شمالی در موقعیت ۵۴۲۶۰۷ تا ۵۵۷۱۲۱ طول شرقی و ۴۰۱۲۰۱۵ تا ۴۰۲۵۱۴۳ عرض شمالی واقع است.

از معدود روستاهای منطقه می‌توان به کیاکلا، خوشل، مونج، پی‌ده، گیل‌کلا، کندلوس، میرکلا، نیچکوه، زانوس و اتاق‌سرا اشاره کرد که راه ارتباطی اصلی آن‌ها انشعاب از محور کندوان(کرج-چالوس) در منطقه موسوم به دوآب، واقع در۲۰ کیلومتری شهر چالوس و امتداد آن به سمت شهر پول و کجور است که در فاصله حدود ۵ کیلومتری شهر پول، انشعاب دیگری به سمت روستاهای منطقه میخساز و زانوس واقع در منطقه مورد مطالعه برقرار است. کمترین ارتفاع در منطقه حدود ۱۳۷۴/۷ متر از سطح دریا(واقع در خروجی حوزه) و مرتفع‌ترین نقطه آن حدود ۳۶۸۹ متر واقع در ارتفاعات جنوبی حوضه می‌باشد. حوزه آبخیز میخساز دارای شیب متوسط وزنی ۴۸ درصد است.

[1] -Patil et al



شکل۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران،استان مازندران و شهرستان نوشهر.

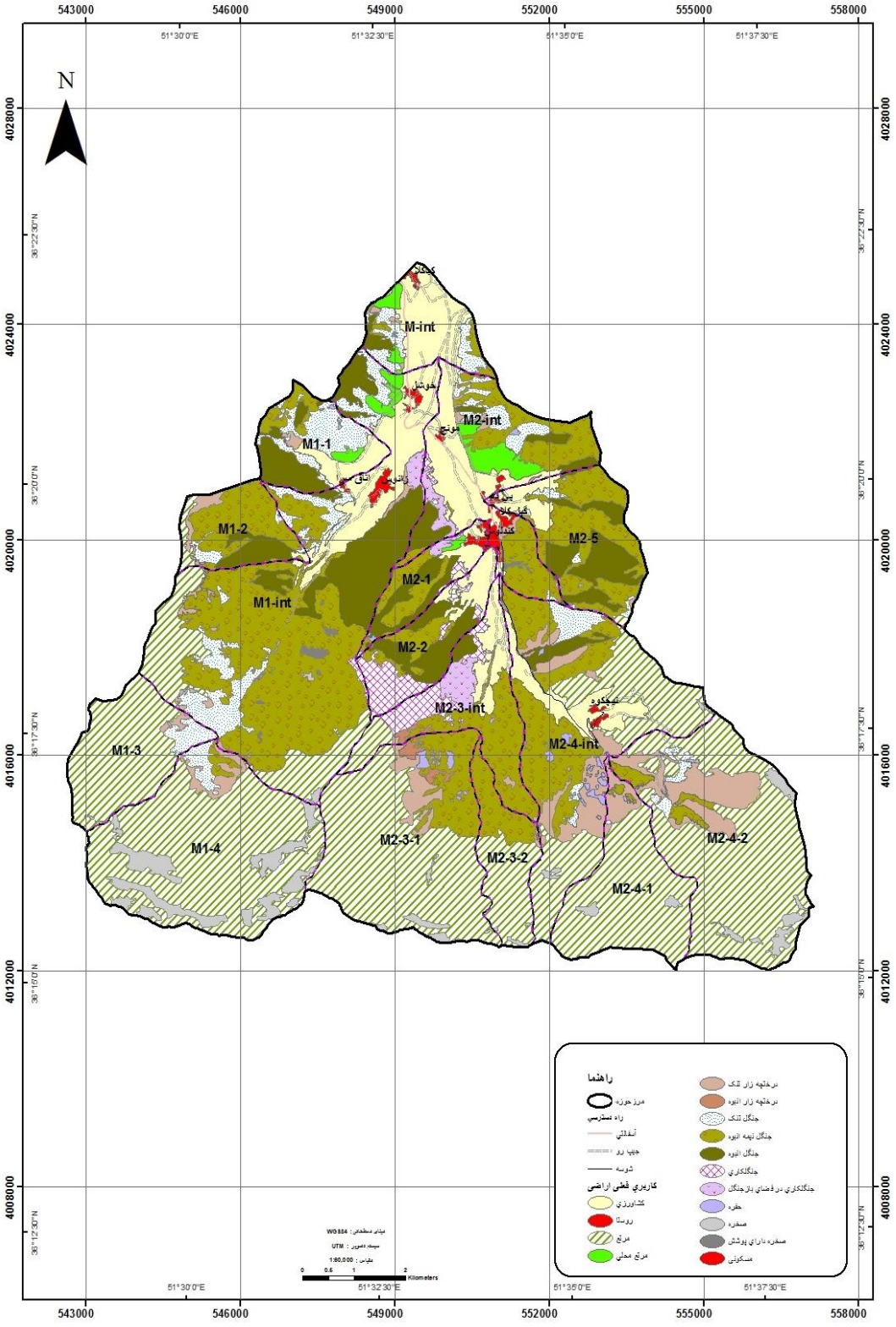
اقلیم کل منطقه براساس دمارتن اصلاح شده، مرطوب سرد است که در ارتفاعات به مرطوب فرا سرد یا ارتفاعی تغییر می‌نماید. متوسط بارندگی سالانه(دوره ۳۰ ساله) در منطقه حدود ۴۲۷/۷ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه در حوزه آبخیز مورد نظر حدود ۹/۰۸ درجه سانتیگراد است. همچنین میانگین حداکثر درجه حرارت سالانه در آن، حدود۱۵/۱۷درجه سانتیگراد و حداقل میانگین درجه حرارت سالانه نیز حدود ۴/۹۷ درجه سانتیگراد می‌باشد.

به‌طور کلی، تمامی واحدهای زمین‌شناسی این حوزه(به استثنای آبرفت‌های کواترنر) در مقیاس زمین‌شناسی دارای سن بالایی هستند، به‌طوری که جوان‌ترین واحد سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه مربوط به سازند شمشک با سن ۲۰۶ میلیون سال و قدیمی‌ترین واحد سنگی رخنمون یافته در حوضه مورد نظر نیز سازند کهر با سنی بیش از ۶۵۰ تا ۵۷۰ میلیون سال می‌باشد که از این بین، سازند مبارک با مساحت ۳۲۶۶/۲ هکتار(۲۹/۲ درصد)، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده وسازندهای درود (۲۰/۱درصد)، روته(۱۰/۶درصد)،نسن(۶/۲درصد)،لالون(۲/۲درص د)،میلا(۱/۸درصد،زایگون(۱/۲درصد)،باروت(۰/۹ رصد)،شمشک(۰/۵درصد)، سلطانیه(۰/۳درصد) و کهر(۰/۱درصد)، به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند. از جمله گونه‌های غالب درختی در منطقه می‌توان به لور- بلوط- ممرز-راش- شیردار- ون همراه با گونه‌های کرب، کرکف، ملچ، کرکو، گلابی وحشی، بارانک و افرا و اکوتون(بوته زار) اشاره نمود. پوشش گیاهی یکساله و چندساله شامل سرخس، گرامینه، کوله خاص، فرفیون و ... می‌باشد. در مراتع حوزه آبخیز مورد مطالعه، تعداد ۳ تیپ گیاهی

شناسائی گردید که هر تیپ بر اساس شکل ظاهری گیاهان عمدتاً از ۲ یا ۳ گونه تشکیل شده است. تیپ‌های پوشش گیاهی جنگلی در منطقه عبارتند از: تیپ لور- بلوط و سایر گونه‌ها(۱۹/۵ درصد از سطح حوضه)، تیپ مخروبه و شاخه زاد لور(۶/۶ درصد از سطح حوضه)، تیپ بلوط– لور(۵/۹ درصد از سطح حوضه)، تیپ اکوتون(بوته زار)[۴/۹ درصد از سطح حوضه]، تیپ بلوط- ممرز(۳ درصد از سطح حوضه)، تیپ راش- ممرز(۱/۲ درصد از سطح حوضه)، تیپ راش- بلوط(۱/۱ درصد از سطح حوضه)، تیپ راش نسبتاً خالص(با شیردار و بلوط) [گونه‌های همراه این تیپ؛ شیردار، ممرز، ون، بلوط، کرب، کرکف، ملچ، کرکو، گلابی وحشی، بارانک و افرا می‌باشد]، تیپ ون همراه با کرب و راش(۰/۴ درصد از سطح حوضه).

با توجه به این نکته، وضعیت کاربری اراضی حوزه آبخیز میخساز بر اساس شرایط حال حاضر به شرح زیر می‌باشد.

- جنگل‌های حمایتی به مساحت ۴۳۱۸/۵ هکتار معادل ۳۸/۵۹ درصد از سطح حوضه.
- جنگل‌های حفاظتی به مساحت ۲۸۷ هکتار معادل ۲/۶٪ از سطح حوضه.
- جنگل‌کاری‌های سنواتی به مساحت ۳۰۱/۲ هکتار معادل ۲/۷٪ از سطح حوضه.
- فضای باز به مساحت ۶۱۰/۵ هکتار معادل ۵/۴۵٪ از سطح حوضه.
- اراضی زراعی به مساحت ۱۲۳۸/۵ هکتار معادل ۱۱٫۱٪ از سطح حوضه.
- مرتع به مساحت ۴۴۳۵/۳۸ هکتار معادل ۳۹/۶٪ از سطح حوضه.



شکل۲: نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز میخساز

روش تحقیق

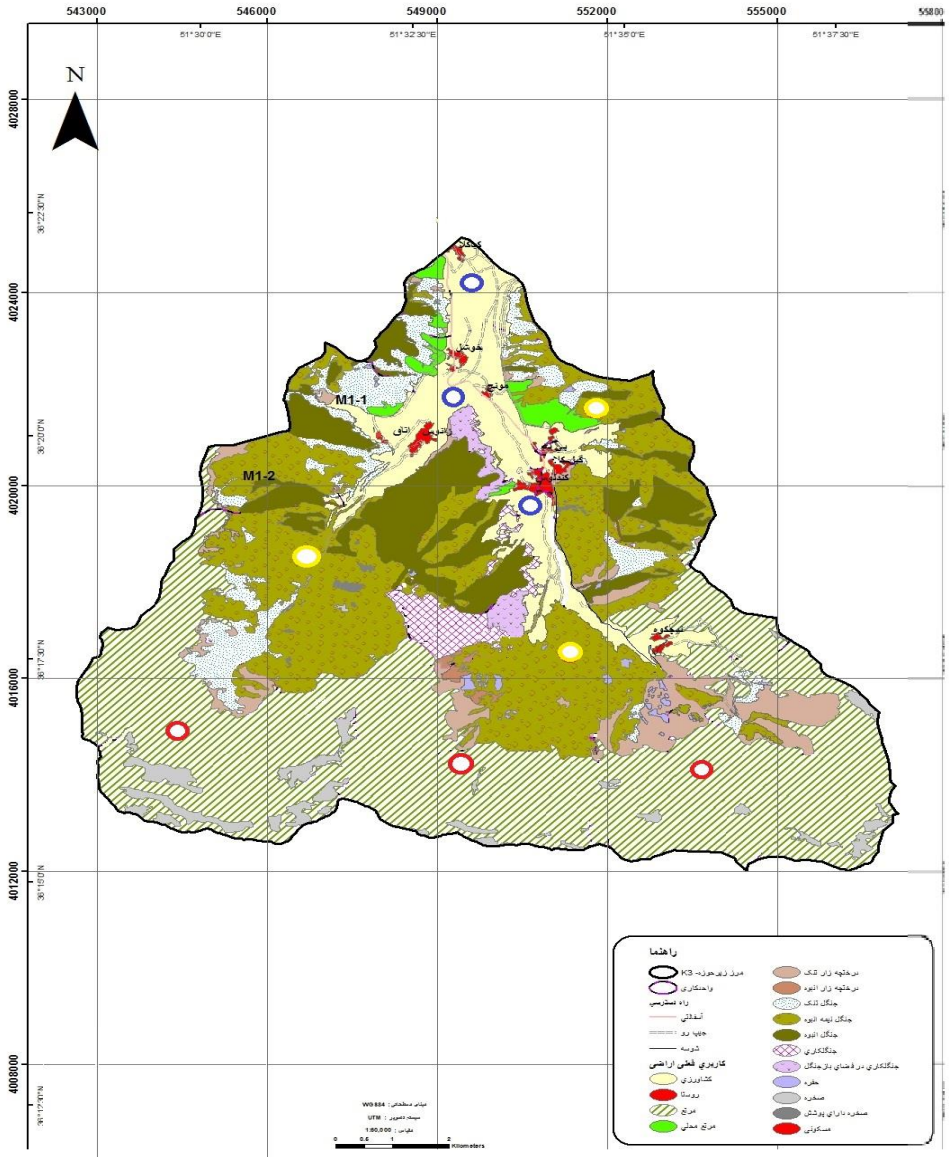
نمونه‌برداری صحرایی

در ابتدا از طریق بازدید میدانی کاربری‌های مختلف اراضی در منطقه مورد بررسی قرار گرفت و در هر کاربری اصلی(جنگلی، مرتعی، کشاورزی) مناطقی[سه محل(که بطور تصادفی انتخاب

شدند)] به منظور انجام آزمایش نفوذپذیری انتخاب گردید. سپس در هریک از محل‌های نمونه‌برداری، اندازه‌گیری نفوذ با استفاده از استوانه مضاعف در سه تکرار صورت پذیرفت. بدین صورت که محیط پیرامونی به شکل مثلث‌های متساوی‌الاضلاعی با طول اضلاع تقریبا دو متر تعیین شد و در هر یک از رئوس مثلث مورد نظر، نمونه‌برداری از خاک و آزمایشات نفوذپذیری، صورت گرفت. اندازه‌گیری مقادیر نفوذ در زمان‌های ۱، ۲، ۴، ۶، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ دقیقه‌ای و در صورت ثابت نشدن مقدار سرعت نفوذ، پس از آن به فاصله زمانی یک ساعته صورت پذیرفت و این کار، تا زمانی که سرعت نفوذ به حد نسبتا ثابتی برسد، ادامه یافت(۲۷).

برای هر یک از محل‌های آزمایش نفوذ، یک نمونه خاک ترکیبی اخذ شد. نمونه‌برداری از ۲۰ سانتی‌متری بالایی خاک انجام شد. نمونه‌های خاک پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل و در آنجا بافت خاک آن‌ها از طریق روش هیدرومتری تعیین گردید. با توجه به مدنظر قرار دادن کاربری‌های منتخب در منطقه و با بازدید صحرایی، در ابتدا در هر یک از کاربری‌ها، سه منطقه معرف تعیین شد و در هر منطقه آزمایشات مربوط به نفوذپذیری صورت گرفت. با توجه به مطالب ذکر شده، در هر کاربری تعداد ۹ نمونه نفوذپذیری خاک و تعداد ۹ نمونه خاک اخذ شد.

شکل۳: اندازه‌گیری مقادیر نفوذ خاک در کاربری مرتعی از طریق استقرار استوانه مضاعف.



شکل۴: نقاط منتخب برای اخذ نمونه خاک و اندازه‌گیری مقادیرنفوذ در حوزه آبخیز میخساز

ساختار مدل‌های نفوذ مورد بررسی

الف- مدل گرین-آمپت

گرین-آمپت(۱۹۱۱) از اولین پژوهشگرانی بودند که موفق به حل نفـوذ آب به خاک به روش تحلیلی شدند. مدل گرین- آمپت براساس همگنی خاک، ثابت بودن رطوبت اولیه خاک، خطی و مستقیم بـــودن جبهه رطوبتی و مجزا شدن ناحیه اشباع از ناحیه غیراشباع، بنـا نهـاده شـده اسـت(۴).

ب- مدل فلیپ

فلیپ(۱۹۷۵) با استفاده از معادله ریچاردز(۱۹۳۱) و حل نیمه تحلیلی آن در حالت یک بعدی(افقی و عمودی)، مدلی برای نفوذ آب به خاک به‌صورت افقی و عمودی ارائه داد(۲۶).

ج- مدل کوستیاکوف

از جملـــه مـــدل‌هـــای تجربـــی دیگر که برای بررسی نفـــوذ آب بـــه خـــاک مطرح شده است مـــدل کوســـتیاکوف(۱۹۳۲) می‌باشد(۲۶).

د- مدل هورتون

از دیگـر معـادلات تجربـی نفـوذ مـی‌تـوان،

به معادله هورتون اشاره کرد که تابعی نمایی است. این تابع براساس این نظریه پی‌ریزی شده است که سرعت انجام کار با کار باقیمانده متناسب است(۲۱).

ر- مدل سازمان حفاظت خاک امریکا

سازمان حفاظت خاک امریکا(SCS) آزمایش‌های فراوانی برای تعیین فرآیند نفوذ در مزارع انجام داده و مدلی با نام "مدل سازمان حفاظت خاک" ارائه نموده است. به طوری‌که مشاهده می‌شود این معادله تقریباً مشابه معادله کوستیاکوف است با این تفاوت که ضریب c به آن اضافه شده است. a می‌تواند برحسب اینچ یا سانتی‌متر بیان شود. ضرایب a و b مربوط به نوع خاک می‌باشند. البته a بسته به اینکه مقدار نفوذ برحسب اینچ یا سانتی‌متر محاسبه شود متفاوت است اما b فقط بستگی به نوع خاک دارد. سازمان حفاظت خاک آمریکا بر اساس شکل منحنی‌های شماره‌دار نفوذ تجمعی با روشSCS، تعدادی منحنی‌های شماره‌دار که رابطه لگاریتمی نفوذ تجمعی و زمان برای خاک‌های مختلف می‌باشد، ارائه داده است. برای پیدا کردن ضرایب معادل SCS ابتدا باید نتایج آزمایشات صحرائی را روی این نمودار آورد تا مشخص شود که نتایج به دست آمده با کدام یک از این منحنی‌ها بیشترین مطابقت را دارد(۲۱).

جدول۱: مشخصات مدل‌های برآورد نفوذ استفاده شده در تحقیق

مدل	رابطه	پارامتر
گرین-آمپت	$F = \frac{a}{f} + b$	F: سرعت نفوذ(سانتی‌متر در ساعت)،f: نفوذ تجمعی(سانتی‌متر) a و b: ضرایب معادله
فلیپ	$I = St^{1/2} + k_s(t)$	I: نفوذ تجمعی(سانتی‌متر)،S:ضریب مربوط به مکش(سانتی‌متر در دقیقه)، t: زمان(دقیقه)، K:هدایت هیدرولیکی(آبی) اشباع
کوستیاکوف	$I = Kt^b$	I:نفوذتجمعی(سانتی‌متر)، K و b:ضرایب معادله، t: زمان(دقیقه)
هورتن	$I = ct + \mathrm{m}[1 - exp(-at)]$	I:نفوذتجمعی(سانتی‌متر)،c, m, a:ضرایب معادله، t: زمان(دقیقه)
سازمان حفاظت خاک آمریکا	$I = at^b + c$	I:نفوذ تجمعی(سانتی‌متر)،c, b, a: ضرایب معادله، t: زمان(دقیقه)

*** ارزیابی مدل‌ها**

با استفاده از آماره‌های زیر، کارایی مدل‌های مورد استفاده در برآورد نفوذپذیری برای هر مطالعه مورد آزمون و بررسی قرار گرفت. آماره‌های مورد نظر با مقایسه مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده نفوذ آب به خاک محاسبه شد.

$$\mathrm{ME_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |\mathrm{y_o} - \mathrm{y_e}|}{n} \qquad \text{رابطه(۱)}$$

که در آن؛

$\mathrm{y_o}$: مقادیر مشاهده‌ای، y_e: مقادیر برآوردی و n: تعداد مشاهدات است.

$\mathrm{ME_i}$(cm) مقدار آماره بیان‌کننده آن است که هر

چقدر مدل دارای مقادیر میانگین خطای کمتری باشد مناسبتر خواهد بود. معیار کفایت ناش-ساتکلیف با استفاده از رابطه زیر بیان می‌شود:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_o - y_e)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_o - \overline{y_o})^2} \quad \text{رابطه(۲)}$$

y_o: مقادیر مشاهده‌ای، y_e: مقادیر برآوردی، $\overline{y_o}$: میانگین مقادیر مشاهده‌ای و n: تعداد مشاهدات می‌باشد.

می‌شود. این آماره، شاخصی برای اندازه‌گیری خطی بودن رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورده شده است. هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، رابطه خطی مورد نظر مشهودتر خواهد بود.

ضریب تبیین نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_o - \overline{x_o})(y_e - \overline{y_e})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_o - x_o)^2 \sum_{i=1}^{n}(y_e - y_e)^2}}\right]^2 \quad \text{رابطه(۳)}$$

آماره‌های فوق‌الذکر برای رتبه‌بندی نهایی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. هرکدام از آماره‌ها رتبه‌ای به مدل‌های مورد بررسی می‌دهد که میانگین این رتبه‌ها، رتبه‌ی نهایی مدل‌ها را بیان خواهد کرد(۱۹).

نتایج و بحث

خصوصیات دانه‌بندی خاک در کاربری‌های مختلف اراضی به شرح جدول ۲ می‌باشد. در جدول فوق، مشخصات درصد رس، سیلت و شن برای هر یک از نقاط نمونه‌گیری در کاربری‌های مختلف آورده شده است که از این طریق می‌توان به مشخصات بافت خاک در هر یک از کاربری‌های اراضی مورد بررسی در این تحقیق دست یافت.

مقایسه نتایج عملکرد مدل‌های مختلف برآورد نفوذ در کاربری‌های اراضی مختلف در حوزه آبخیز میخساز در جداول۳،۴ و ۵ ارائه شده است

جدول۲: خصوصیات دانه‌بندی نمونه خاک اخذ شده در هر یک از نقاط مورد نظر در منطقه مورد مطالعه

شماره نمونه ترکیبی	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن
۱	۳۰	۲۸	۴۲
۲	۲۸	۳۱	۴۱
۳	۳۶	۳۴	۳۰
۴	۱۱	۵۳	۳۸
۵	۱۱	۶۰	۳۰
۶	۱۲	۵۸	۳۰
۷	۴۴	۲۲	۳۴
۸	۴۰	۲۳	۳۷
۹	۲۷	۴۳	۳۰

با توجه به اطلاعات بدست آمده از آزمایشات صحرایی که در هر یک از کاربری‌های مختلف

اراضی و با استفاده از بکارگیری استوانه‌های مضاعف صورت پذیرفت، تجزیه و تحلیل آماری انجام شد. بدین منظور با توجه به 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 اراضی محاسبه شد که نتایج آن به قرار جدول زیر می‌باشد.

در اینجا لازم به ذکر است که محاسبه سرعت متوسط نفوذ از طریق معادله زیر صورت گرفته است:

$$\bar{I} = \frac{CF}{T}$$ رابطه(۴)

که در این رابطه عوامل به شرح زیر می‌باشند:

$\bar{I}$: متوسط سرعت نفوذ، CF: مقدار نفوذ تجمعی در کل مدت زمان اندازه‌گیری نفوذ، T: کل زمان اندازه‌گیری شده(۱۸۰ دقیقه).

جدول۳: پارامترهای اندازه‌گیری شده نفوذ در کاربری‌های مختلف اراضی

نوع کاربری	نفوذتجمعی تا زمان ۱۸۰ دقیقه (سانتی‌متر)	متوسط سرعت نفوذ (سانتی‌متر برساعت)	حداکثر سرعت نفوذ (سانتی‌متر برساعت)	سرعت نفوذ نهایی (سانتی‌متر برساعت)	زمان تا لحظه تثبیت نفوذ (ساعت)
زراعی	۴۳/۱	۱۵/۵	۴۹	۱۱/۶۵	۳
جنگلی	۲۹/۴	۱۰/۶	۳۷/۳	۸/۲۸	۲/۵۳
مرتعی	۲۵/۲	۸/۹	۳۱/۷	۱۰/۵۲	۲/۳۸

توجه به داده‌های حاصل از جدول فوق، روشن می‌سازد که بیشترین مقدار نفوذ تجمعی در پایه زمانی ۱۸۰ دقیقه با میزان ۴۳/۱ سانتی‌متر متعلق به کاربری زراعی بوده و پس از آن به ترتیب کاربری‌های جنگلی(با میزان ۲۹/۴ سانتی‌متر) و مرتعی(با میزان ۲۵/۲ سانتی‌متر) قرار دارند. همچنین بیشترین میزان حداکثر مقدار نفوذ مربوط به کاربری زراعی و کمترین آن نیز مربوط به کاربری مرتعی می‌باشد. بررسی میزان متوسط سرعت نفوذ نیز که از رابطه بالا بدست آمده است نشانگر این امر می‌باشد که بالاترین مقدار(۱۵/۵سانتی‌متر بر ساعت) در کاربری زراعی و کمترین مقدار(۸/۹ سانتی‌متر بر ساعت) در کاربری مرتعی مشاهده شده است. پس از این مرحله، اقدام به تعیین ضرایب مدل نفوذ و سپس مقایسه مدل‌های مختلف نفوذ بکار رفته در این تحقیق و در نهایت تعیین بهترین مدل اندازه‌گیری نفوذ در کاربری‌های مختلف اراضی مورد بررسی شد. همانطور که در مطالب قبل نیز بیان شد، در ارتباط با نقش ضریب تبیین و سایر ضرایب مورد بررسی بایستی بیان نمود که ضریب تبیین بیانگر توانایی مدل‌های مذکور در برآورد مقادیر نفوذ در دامنه‌ای قابل قبول در مقایسه با داده‌های مشاهداتی است اما بیان اینکه کدامیک از مدل‌ها توانسته است تا عملکرد بهتری را در برآورد مقادیر دقیقتر و نزدیکتر به واقعیت از خود نشان دهند نیز می‌بایستی به ضریب میانگین خطا و ناش-ساتکلیف توجه نمود که نتایج گرفته شده در این

تحقیق نیز بر همین اساس بوده است. در ادامه محاسبات نیز، معیارهای سنجش خطا برآورد گردید که نتایج به شرح جداول زیر می‌باشد.

جدول۴: معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌های نفوذ مورد بررسی در کاربری اراضی زراعی

نوع مدل	ضریب کارایی ناش-ساتکلیف	ضریب ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین
کوستیاکوف	۰/۷۷۱	۲/۰۱	۰/۸۷۳
گرین -آمپت	۰/۵۸۳	۶/۸۷	۰/۵۸۹
هورتن	۰/۱۹۷	۱۰/۱۳	۰/۲۷۶
سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۸۰۵	۱/۸	۰/۸۹۰
فلیپ	۰/۸۰۱	۱/۰۲	۰/۹۹۰

جدول۵: معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌های نفوذ مورد بررسی در کاربری اراضی مرتعی

نوع مدل	ضریب کارایی ناش-ساتکلیف	ضریب ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین
کوستیاکوف	۰/۸۸۱	۰/۷۶۴	۰/۹۳۲
گرین -آمپت	۰/۸۲۹	۴/۱۳	۰/۸۷۶
هورتن	۰/۲۸۴	۹/۷۵	۰/۶۰۱
سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۹۳۶	۰/۷۰۲	۰/۹۲۷
فلیپ	۰/۸۷۹	۰/۸۳۷	۰/۸۹۱

جدول۶: معیارهای سنجش خطا برای هر یک از مدل‌های نفوذ مورد بررسی در کاربری اراضی جنگلی

نوع مدل	ضریب کارایی ناش-ساتکلیف	ضریب ریشه میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین
کوستیاکوف	۰/۷۹۲	۱/۳۶	۰/۸۴۰
گرین -آمپت	۰/۶۱	۱۰/۰۷	۰/۶۰۲
هورتن	۰/۲۰۴	۱۱/۶۴	۰/۳۰۱
سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۸۴۵	۱/۱۲	۰/۸۹۴
فلیپ	۰/۸۹۳	۰/۹۴۶	۰/۹۹۱

توجه به داده‌های حاصل از جدول۳، نشان می‌دهدکه در تحقیق حاضر و در کاربری اراضی زراعی مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا (با ضریب کارایی برابر با ۰/۸۰۵) و فلیپ(با ضریب کارایی برابر با ۰/۸۰۱) از نظر کارایی در برآورد مقادیر نفوذ به ترتیب در رتبه اول و دوم قرار داشته و مدل هورتن (با ضریب کارایی برابر با ۰/۱۹۷) به عنوان نامناسب‌ترین مدل به حساب می‌آید. مطابق با داده‌های حاصل از جدول۴، مشخص می‌شود که در این پژوهش و درکاربری اراضی مرتعی از نظر برآورد مقادیر نفوذ، مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا(با ضریب کارایی برابر با ۰/۹۳۶) و کوستیاکوف(با ضریب کارایی برابر با ۰/۸۸۱) به ترتیب در رتبه اول و دوم کارایی قرار دارند و مدل هورتن(با ضریب کارایی برابر با ۰/۲۸۴ نامناسب‌ترین مدل را در ارتباط با کارایی برآورد مقادیر نفوذ به خود اختصاص داده است. بر اساس داده‌های حاصل از جدول۵، مشخص می‌شود که مدل‌های فلیپ(با ضریب کارایی برابر با ۰/۸۹۳) و سازمان حفاظت خاک آمریکا(با ضریب کارایی برابر

با ۰/۸۴۵) به ترتیب در رتبه اول و دوم کارایی برآورد مقادیر نفوذ قرار داشته و مدل هورتن(با ضریب کارایی برابر با ۰/۲۰۴) نیز به عنوان نامناسب‌ترین مدل در کاربری اراضی جنگلی در این رابطه شناخته شده است.

مدیریت کمّی و کیفی آب، نیاز به درک کامل و دقیق چرخه رواناب دارد(۱۶). در این ارتباط، مطالعه برآورد مقادیر نفوذ به‌عنوان یکی از اجزای مهم چرخه آب که در مباحث هیدرولوژی سطحی و زیرسطحی نقش مهمی ایفا می‌کند، حائز اهمیت است(۲۰). وضعیت نفوذپذیری خاک نشان دهنده چگونگی رفتار خاک در برابر آب رسیده به سطح خاک بوده و تعیین کننده سرنوشت آب رسیده به سطح خاک می‌باشد که مقدار تلفات بارش را نیز مشخص می‌کند(۱۵).

از آن جا که کمّی کردن پدیده نفوذ آب به خاک، در مدیریت منابع آب و حوزه‌های آبخیز از اهمیت بسیار زیادی برخوردار 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 به شمار می‌روند(۱۴).

بررسی پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از آن است که پژوهشگران مختلف در مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف نفوذ به نتایج متفاوت و گاهی ضد و نقیض دست یافته‌اند که از جمله این دلایل می‌توان به طبیعت تغییرپذیری فرآیند نفوذ آب به خاک اشاره نمود که سبب عملکرد متفاوت یک مدل نفوذ، حتی در دو خاک مشابه از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی می‌شود(۴۰). همچنین، بسته به روش اندازه‌گیری مقادیر نفوذ، شرایط اولیه و شرایط مرزی جریان آب در خاک متفاوت خواهد بود که می‌توان دست کم بخشی از تفاوت در نتایج بدست آمده را به این امر نسبت داد(۳۶).

همانطور که می‌دانیم، مقدار نفوذ آب به خاک تابع پارامترهایی مانند خصوصیات خاک، نوع پوشش گیاهی، انواع کاربری اراضی، خصوصیات توپوگرافی منطقه و قابلیت پراکندگی ذرات سطح خاک می‌باشد(۱۵) که تغییرپذیری زمانی و مکانی آن‌ها موجب تفاوت در مقادیر نفوذ در نقاط مختلف شده و به همین دلیل است که بایستی آزمایش‌های میدانی برای اندازه‌گیری مقادیر نفوذپذیری در شرایط ویژه در هر منطقه به انجام رساند(۸).

بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر و مطابق با داده‌های موجود در جداول مربوطه؛ مشخص شد که مقادیر نفوذ تجمعی، سرعت نفوذ نهایی، حداکثر سرعت نفوذ، متوسط سرعت نفوذ و زمان تا لحظه تثبیت نفوذ در کاربری زراعی بیشتر از کاربری جنگلی و در کاربری جنگلی بیشتر از کاربری مرتعی بوده است که این امر را می‌توان به دلیل عدم توجه به تعادل دام در مرتع و لگدکوبی زیاد دام و سفت شدن و سله بستن سطح خاک در این اراضی، مرتبط دانست که نهایتا منجر به کاهش نفوذ آب در خاک می‌شود بطوری که این موارد نیز به نوبه خود باعث ایجاد سیل‌های مخرب؛ آلودگی محیط زیست؛ کاهش تولیدات مرتعی؛ خشکسالی؛ افزایش فرسایش در سطح اراضی مرتعی؛ کاهش رطوبت خاک و در نهایت کاهش پوشش گیاهی می‌شوند. در مورد کاربری زراعی؛ بالا بودن مقادیر پارامترهای بیان شده را می‌توان به اقدامات موثر در عملیات شخم و دست خوردن لایه

های سطحی خاک مرتبط دانست.

بررسی معیارهای سنجش خطا برای هر کدام از مدل‌ها در کاربری‌های مختلف مورد بررسی نیز نشان داد که در سطح حوزه آبخیز میخساز مدل‌های نفوذ مورد بررسی در کاربری‌ها مختلف، عملکرد متفاوتی از خود به نمایش گذاشتند، اما بطور کلی می‌توان بیان نمود که در کاربری‌های اراضی مختلف مورد بررسی در این حوزه آبخیز، مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا؛ فلیپ و کوستیاکوف برآورد واقع بینانه‌تری را در ارتباط با تخمین مقادیر نفوذپذیری از خود نشان داده‌اند بطوریکه در کاربری زراعی و جنگلی مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا و فلیپ و در کاربری مرتعی مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا و کوستیاکوف رتبه‌های برتر را داشته‌اند که نتایج این بخش از مطالعه با نتایج تحقیقات نتایج ملکی و عالی‌نژاد(۱۳۹۴)، نشاط و پاره‌کار(۱۳۸۶)، کاووسی و همکاران(۱۳۹۰)، گودرزی و همکاران(۱۳۹۱)، فاخرنیکچه و همکاران(۱۳۹۱)، پرهمت و همکاران (۱۳۹۵)، واعظی و صالحی(۱۳۹۹)، اوکو وهمکاران (۲۰۰۰)، شوکلا و همکاران(۲۰۰۳)، کولمن و همکاران ۲۰۰۸)، عرب و همکاران (۲۰۱۴) مبنی بر مناسب بودن مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا، فلیپ و یا کوستیاکوف در برآورد مقادیر نفوذ در برخی از کاربری‌های اراضی هم‌خوانی دارد.

نتایج بخشی دیگری از این تحقیق با نتایج مطالعات ملکی و عالی‌نژاد(۱۳۹۴)، فاخرنیکچه و همکاران(۱۳۹۳)، غلامی و همکاران(۱۳۹۵)، سعدی خانی و سهرابی(۱۳۹۶)، موسوی دهموردی و همکاران(۱۳۹۸) مبنی بر عدم توانایی مدل فلیپ و با نتایج تحقیقات کاووسی و همکاران(۱۳۹۰)، سلیمانی و همکاران(۱۳۹۵)، پرهمت و نظری(۱۳۹۵)، شوکلا و همکاران (۲۰۰۳)، تیونر و همکاران[1](۲۰۰۶)، مبنی بر عدم کارایی مدل هورتن در برآورد مقادیر نفوذ در برخی از کاربری‌های اراضی مورد بحث در این تحقیق نیز مطابقت دارد.

طبق نتایج حاصله در کاربری جنگل، مدل SCS توانسته است پس از مدل فلیپ برآورد مناسب‌تری از مقادیر نفوذ را ارائه نماید که نتایج این بخش از تحقیق با نتایج مطالعات رشیدی و صیفی(۱۳۸۶)، سپهوند و همکاران(۱۳۹۰)، فاخرنیکچه و همکاران(۱۳۹۳)، واقفی و موحدزاده (۱۳۹۳)، ملکی و عالی‌نژاد(۱۳۹۴)، چَهینیان و همکاران[2](۲۰۰۵)، سیهاگ و همکاران[3] (۲۰۱۷)، ایگبادون و ایدریسی[4](۲۰۰۷) مبنی بر دارا بودن جایگاه رتبه دوم مدل کوستیاکوف در برآورد مقادیر نفوذ در کاربری جنگلی مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، ارزیابی عملکرد مدل‌های نفوذ منتخب، در کاربری‌های مختلف اراضی در حوزه آبخیز میخساز مورد بررسی قرار گرفت. در بخش مطالعات صحرایی، در هر یک از کاربری‌های زراعی، جنگلی و مرتعی، و در هر یک از نقاط نمونه‌برداری، اندازه‌گیری نفوذ با استوانه مضاعف در سه تکرار انجام شد. بافت خاک در هر یک از این کاربری‌ها از طریق روش هیدرومتری بررسی شد و در نهایت داده‌های نفوذ آب در خاک مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. با استفاده از ضریب کارایی(ناش و ساتکلیفت)، شاخص ضریب تبیین و

[1] - Tunner et al
[2] - Chahinian et al
[3] - Sihag et al
[4] - Igbadun and Idrisi

آماره‌های میانگین خطا، کارایی مدل‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا، هورتون، گرین-آمپت، کوستیاکوف و فلیپ در نقاط منتخب مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت آماره‌های مورد نظر با مقایسه مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده نفوذ آب در خاک محاسبه گردید(۱).

توجه به نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌های مختلف برآورد نفوذ در کاربری‌های مختلف اراضی مورد مطالعه دارای کارایی متفاوتی می‌باشند. در کاربری‌های اراضی زراعی و جنگلی مدل‌های فلیپ و سازمان حفاظت خاک آمریکا به عنوان مدل‌های برتر شناخته شده‌اند در کاربری مرتعی نیز مدل‌های سازمان حفاضت خاک آمریکا و کوستیاکوف عنوان مناسب‌ترین مدل را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در هر سه کاربری اراضی مدل هورتن به عنوان نامناسب‌ترین مدل در برآورد مقادیر نفوذ شناخته شده است. وجود چنین تناقضاتی را بایستی در متفاوت بودن سرشت خاک‌ها و مجموعه شرایط توپوگرافی و ..... حاکم بر آزمایش‌ها نسبت داد. زیرا هر یک از این مدل‌ها در شرایط ویژه‌ای توسعه یافته‌اند و بهترین برازش را با داده‌های تجربی در شرایط خاصی از خود نشان داده‌اند. لذا توصیه می‌شود که در استفاده ازاین مدل‌ها در نقاط و نواحی مختلف، به نکات بیان شده در سطور بالا توجه کافی نمود. از علل دیگری که می‌توان این تفاوتها را به آن نسبت داد ماهیت تغییرپذیری در فرآیند نفوذ آب به خاک است که منجر به آن می‌شود تا در ارزیابی یک مدل منفرد نیز در دو نوع خاکی که دارای خصوصیات بسیار مشابهی هم هستند نیز کارآیی متفاوتی مشاهده شود.

منابع

۱. آزادی خواه،ر.، صادقی اصل، م.، ادهمی،ا.، اولیایی، ح.، دادکرمی،ع.، سعدی‌پور،ش.(۱۳۹۹). ارزیابی تغییرات مکانی نفوذ آب به خاک و پارامترهای مدل‌های مربوطه با استفاده از زمین آمار(مطالعه موردی:دشت منصور آباد). علوم آب و خاک(علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)،سال۲۳،شماره۲، ص۳۰۳-۳۱۷.

۲. پرچمی عراقی.،میرلطیفی،م.، قرباتی دشتکی.، مهدیان،م.ح. ۱۳۸۹. ارزیابی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک در برخی کلاس‌های بافتی خاک و کاربری‌های اراضی. آبیاری و زهکشی ایران،جلد۴، شماره۲،ص۱۹۳-۲۰۵.

۳. پرهمت،ج؛نظری پویا،ح.۱۳۹۵. بررسی و ارزیابی مدل‌های نفوذ در خاک حاوی پوشش مرتعی(مطالعه موردی:گنبد بیس استان همدان)، مهندسی و مدیریت حوزه آبخیز،جلد هفتم،شماره چهارم، صفحات ۴۵۸-۴۶۸.

۴. جلینی،م.۱۳۷۵.تعیین ضریب مدل‌های نفوذ آب به خاک در خاک‌های اراضی کرج،پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی،دانشگاه تبریز،۱۷۳ص.

۵. جوادی،م.ر. و فرنوش،م.۱۳۹۹. راهنمایی برای ارزیابی فرسایش خاک و رسوبگذاری با استفاده از رادیونوکلوئیدهای زیست محیطی، ترجمه، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مازندران، ساری، ۳۵۶ص.

۶. جوادی،م،ر؛نام آور،ر؛رجحان،ا؛ غفارخانی،م.ر.۱۴۰۱. دستورالعمل‌هایی برای استفاده از ذرات گرد و غبار پرتوزای رادیونوکلوئیدی در ارزیابی فرسایش و اثر بخشی استراتژی‌های حفاظت خاک. ترجمه، انتشارات جهاد دانشگاهی مازندران،۳۱۲ص.

۷. رشیدی،م؛صیفی،ک.۱۳۸۶.مقایسه میدانی مدل‌های مختلف نفوذ در تخمین مقدار نفوذپذیری خاک برای روش آبیاری جویچه‌ای. علوم کشاورزی و محیط زیست،جلد دوم،شماره ششم، صفحات ۶۲۸-۶۳۲.

۸. زارع ابیانه،ح؛خسرایی،ح؛ابراهیمی پاک،ن؛تافته،آ؛جوزی،م.۱۳۹۸. انتخاب مدل بهینه نفوذ آب در خاک (مطالعه موردی:اراضی جهاد نصر استان خوزستان)، مدیریت آب و آبیاری، دوره۹، شماره۲، ص ۲۹۱-۳۰۴.

۹. زهتابیان،غ.ر؛ شهریاری،ا.؛جوادی،م،ر.۱۳۸۷. اکوفیزیولوژی گیاهان اقتصادی در مناطق خشک و نیمه خشک و سازگاری‌های موجودات زنده بیابانی،ترجمه، انتشارات دانشگاه تهران،۳۷۰ص.

۱۰. سپهوند،ع.،طایی سمیرمی،م.، میرنیا،خ.، مرادی،ح. ۱۳۹۰. ارزیابی حساسیت مدل‌های نفوذ نسبت به تغییرپذیری رطوبت خاک. آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی)، جلد۲۵،شماره۳،ص۲۳۸-۲۴۶.

۱۱. سعدی‌خانی،م.، سهرابی،ا.(۱۳۹۶). تاثیر کاربری اراضی بر کارایی برخی از مدل‌های نفوذ آب به خاک. مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد هفتم،شماره۱،ص۱۲۷-۱۳۸.

۱۲. سلیمانی،ل.،حقی‌زاده،ع.، زینی‌وند،ح.۱۳۹۶. تعیین بهترین مدل‌های نفوذ در کاربری‌های مختلف به منظور مدیریت بهینه حوزه‌های آبخیز(مطالعه موردی:حوزه آبخیز کاکاشرف استان لرستان).پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز،سال هفتم، شماره۱۳، ص۳۳-۴۱.

۱۳. شکوهی،ع.،دانش کار آراسته،پ.(۱۳۹۲). اصول و روش‌ها و طراحی سیستم‌های آبیاری،انتشارات دیباگران،۵۰۳ص.

۱۴. عباسی،ف.(۱۳۹۰). اصول جریان در آبیاری سطحی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران،۲۳۲ص.

۱۵. علیزاده،ا.(۱۳۹۶).فیزیک خاک. انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا(ع)،چاپ هشتم،۶۱۶ص.

۱۶. علیزاده،ا.(۱۳۹۸). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)،چاپ۴۱،۹۴۱ص.

۱۷. غلامی،ع؛پاره کار،م؛دربندی،ن.۱۳۹۵. بررسی مدل‌های تجربی نفوذ آب در خاک و دست‌یابی به بهترین مدل در آبیاری سطحی(فرصتی برای کشاورزی پایدار).دومین کنفرانس ملی کشاورزی و توسعه پایدار(فرصتها و چالشها)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز. صفحه ۱-۹.

۱۸. فاخر نیکچه، ا؛ وفا خواه م؛ صادقی، ح.ر.۱۳۹۳. ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف نفوذ تجمعی در کاربری‌ها و بافت‌های مختلف خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران، دانش آب و خاک،جلد ۲۴، شماره اول، صفحات ۱۸۳-۱۹۳.

۱۹. فیضی اصل، و؛ نیشابوری، م.ر؛ موسوی، س.ب.۱۳۸۴. تعیین ضرایب معادلات نفوذ با روش‌های استوانه مضاعف، باران ساز مصنوعی و آبپاش، دانش کشاورزی، جلد۱۵،شماره اول، صفحات ۷۹-۹۱.

۲۰. کاوسی،م.،وفاخواه،م.،مهدیان،م.ح.(۱۳۹۲).ارزیابی برخی معادلات نفود آب در خاک در کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز کجور. مهندسی آبیاری و آب،سال چهارم،شماره۱۳،ص۱-۱۳.

۲۱. کرمی،ب؛گلابی،م؛ دهومال.ک.برآورد ضریب معادلات نفوذ(مطالعه موردی:دشت شاور در استان خوزستان). ۱۳۹۱. تحقیقات مهندسی کاربردی،جلد هفتم،شماره اول،صفحات ۵۵-۶۹.

۲۲. کجوری،ر.۱۴۰۱. مقایسه کارایی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک بر اساس داده‌های حاصل از استوانه‌های مضاعف در کاربری‌های مختلف اراضی(مطالعه موردی: حوزه آبخیز میخساز)،پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نو،۱۲۰ص.

۲۳. گودرزی،ل؛آخوندعلی،ع.م؛ زارعی،ح.۱۳۹۱. ارزیابی و تعیین ضرایب مدل‌های نفوذ آب به خاک در دشت اشترینان، حفاظت منابع آب و خاک،سال اول،شماره۳،ص۳۹-۴۵.

۲۴. محمدی،م.ح.، رفاهی،ح.ق. ۱۳۹۸. تخمین پارامترهای معادلات نفوذ توسط خصوصیات فیزیکی خاک، علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۶،شماره۶، ص۳۱-۳۷.

۲۵. مرادی باصری، ح؛ قربانی دشتکی، ش؛ خداوردی لو، ح؛ خلیل مقدم، ب؛ گیوی، ج.۱۳۹۰. مقایسه کارایی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک در خاک‌های ورتی‌سول و غیر ورتی‌سول، پژوهش آب ایران، جلد ۵،شماره ۸،ص ۱۸۷-۱۹۶.

۲۶. ملکی،ع.، عالی نژادیان،ا.۱۳۹۲. بررسی و مقایسه معادله‌های نفوذ کوستیاکوف، کوستیاکوف-لوئیز،فلیپ و فلیپ اصلاح شده. دومین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک،ایرکوه، یزد،ایران.

۲۷. موسوی دهموردی،ا.،قربانی دشتکی،ش.، مشایخی،پ. ۱۳۹۸. مقایسه کارایی برخی مدل‌های نفوذ آب به خاک بر اساس داده‌های به دست آمده از استوانه‌های دوگانه و نرم افزارHYDRUS-1D. تحقیقات کاربردی خاک،جلد۷، شماره۲، ص۱۸۲-۱۹۵.

۲۸. نشاط، ع؛ پاره کار، م.1386. مقایسه روش‌های تعیین سرعت نفوذ عمودی آب در خاک، علوم کشاورزی،جلد۱۴، شماره ۳،صفحات ۱۸-۲۹.

۲۹. واعظی،ع.ر؛صالحی،ی.۱۳۹۹. کارایی مدل‌های نفوذ آب به خاک در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه آبخیز تهم چای، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره۹۱، شماره۵.

۳۰. واقفی،م.، موحدزاده، م.، ۱۳۹۱. بررسی و مقایسه سه مدل مختلف نفوذپذیری با استفاده از نتایج آزمایشات استوانه مضاعف در دو حوضه آبریز استان بوشهر، مهندسی زمین‌شناسی، ۶(۱): ۱۴۴۵-۱۴۵۸.

31. Arab,A.I.,Mudiare,O.J.,Oyebode,M.A.,Idris,U.D.2014.Performance evaluation of selected infiltration equation for irrigated(FADAMA)soils in Southern Kaduna Plain, Nigeria. Bas.Res.J.Soil Environ.Science.2:4.1-18.

32. Bamutaze,Y.,Makooma,T.,Gilbert,M.,Vanacjer,V.,Bagoora,F.,Magunda,M.,Obando,J. ,Wasigeh,j.2010.Infiltration Characteristics of Volcanic Sloping Soils on Mt.Elgon,Eastern Uganda Yazidhi.Catena,80(2):122-130.

33. 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.

34. Coleman,E.A.2008."Comparison of four methods to assess hydrolic conductivity".Journal, of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,ASCE.

35. Corradini, C., Flammini, A., Morbidelli, R., & Govindaraju, R. S. 2011. A conceptual model for infiltration in two-layered soils with a more permeable upper layer: From local to field scale. Journal of Hydrology, 410(1), 62-72.

36. Duan, R., Fedler, C. B., & Borrelli, J. (2011). Field evaluation of infiltration models in lawn soils. Irrigation Science, 29(5), 379-389.

37. Fan, G., Han, Y., & Ma, D. 2013. Computer forecasting of the soil water infiltration parameters in seasonal freezing and thawing periods. Mathematical and Computer Modelling, 58(3), 725-730.

38. Hsu,S.M.,Ni,C.F and Hung,P.F.2002.Assessment of Three Infiltration Formulas Based on Model Fitting and Richards's Equation.Journal of Hydrological Engineering,7:373-379.

39. Igbadun,E., Idrisi,U.2007.Performance evaluation of infiltration models in a hydromorphic soil.Journal of soil and Environment Research,7:53-58.

40. Liu, Z., Lang, N., & Wang, K. 2013. Infiltration characteristics under different land uses in yuanmou dry-hot valley area. In Proceedings of the 2nd International Conference on Green Communications and Networks 2012 (GCN 2012): 1 : 567-572, Springer Berlin.

41. Oku,E.E.,Essoka,A.N and Oshunsanya,S.I.2005. Determination of infiltration characteristics and suitability of Kostiakov and Philip infiltration models in predicting infiltration into soils under different treatments.Global Journal of Pure and Applied Sciences.11(3):323-326.

42. Patil,V.S.,Chavan,S.M. and Pawar,D.P.2018.Spatial distribution of soil under the influence of infiltration rate.Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry,7 (2):2024-2029.

43. Rachman,S.1992. Infiltration under Land Use Type 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. 141pp.

44. Sihag,P.,Tiwari,N,K.,Ranjan,S.2017.Estimation and intercomparison of infiltration models Water Science.31(1),34-43pp

45. Shukla,M.K.,Lal,R.,Ownes.L.B and Unkefer,P.2003. Land use and management impacts on structure and infiltration characteristics of soil in the north Appalachian region of Ohio.Soil Sciences,168:167-177.

46. Tunner,E.R.2006. Comparision of infiltration equation and their field validation with rainfall simulation.MSc,Thesis.University of Maryland.USA.202PP.

Comparison of the Efficiency of Some Soil Infiltration Models Based on the Data Obtained from Double Rings in Different Land Uses (Case Study: Mikhsaz Watershed)

Razieh Kojouri[1], Mohammadreza Javadi[2]

Abstract

The process of water infiltration into the soil plays a very important role in the water cycle in nature. The importance of this phenomenon has led many researchers to focus their studies in this regard. So that, they can estimate it by providing a suitable model. Since, conducting infiltration studies in the field is costly and requires a lot of times, therefore, different models are used to estimate the amount of infiltration, and each of these models shows a good fit with experimental data in certain conditions. In the present research, At first, infiltration was measured using the method of double rings in forest, Rangeland and agricultural, land uses. Then, the data of infiltration values obtained from Kostiakov, Horton, Green-Ampt, American soil conservation service(SCS) and Phillip models were evaluated using Nash-Sutcliff adequacy index, explanation index and average error criterion in order to determine the most suitable infiltration estimation model. The results showed that in agricultural land use; American soil conservation service(SCS) model (with average R^2=0.890, ME=1.8 and NSE=0.805), in rangeland use; American soil conservation service(SCS) model (with an average of R^2=0.927, ME=0.837 and NSE=0.936) and in forest land use, the Philip model (with an average of R^2=0.991, ME=0.946 and NSE =0.893) were introduced as the most suitable model in determining the estimation of Infiltration values.

Key words: Mikhsaz Watershed, Forest, Range land, Permeability, Infiltration Estimation Models

.

[1] Msc Student, Department of Natural Resources, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran.

[2] Assistant Professor, Department of Natural Resources, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran.(Corresponding authors:Javadi.desert@gmail.com)