

بررسی تغییرات نفوذپذیری و ارزیابی مدل‌های آن در تیپ‌های گیاهی مختلف (مطالعه موردی: حوزه آبخیز الشتر، لرستان)

شکوفه حسنونند^۱، علیرضا سپه‌وند^{۲*}، فرج‌اله ترنیان^۳ و پروین سیهاک^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۴/۱۶

چکیده

نفوذ آب به خاک مهم‌ترین منبع تامین‌کننده آب برای حیات گیاهان می‌باشد و نقش اساسی در کنترل آب‌های سطحی و زیرزمینی دارد. هدف این تحقیق بررسی تغییرات نفوذپذیری در تیپ‌های گیاهی *Astragalus ecbatanus*- *Annual Grass*-*Astragalus rhodoseminus* و *Quercus brantii*، *Euphorbia denticulata* و *Annual Grass* مختلف و مدل‌سازی نفوذپذیری آن‌ها می‌باشد. در این تحقیق از استوانه‌های مضاعف برای اندازه‌گیری نفوذ استفاده گردید. در هر تیپ گیاهی سه نمونه برداشت گردید و شاخص‌های نفوذپذیری و برخی ویژگی‌های خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. از آزمون ANOVA برای بررسی تغییرات و از رابطه همبستگی پیرسون برای بررسی روابط نفوذ با پارامترهای خاکی استفاده شد. همچنین عملکرد مدل‌های گرین-آمپت اصلاح شده، فیلپ، کوستیاکوف، حفاظت خاک آمریکا و هورتون در برآورد نفوذپذیری مورد ارزیابی قرار گرفت و از معیارهای سنجش خطای ضریب ناش-سایتکلیف، ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی و غیره برای انتخاب بهترین مدل استفاده شد. نتایج نشان داد که از فاکتورهای خاکی مورد بررسی، تنها سیلت تفاوت معنی‌دار در تیپ‌های مختلف نشان داد و اگر چه میزان نفوذپذیری تفاوت معنی‌داری نشان نداد ولی مقدار متوسط نفوذ در تیپ *Astragalus ecbatanus*-*Annual Grass*-*Astragalus rhodoseminus* برابر با ۱۴/۴ cm/h، بیشترین و در تیپ *Annual Grass*-*Astragalus rhodoseminus* برابر با ۶/۲۵ cm/h، کمترین مقدار بود که تفاوت ۲/۳ برابری را نشان می‌دهد. همچنین نتایج همبستگی نشان داد که نفوذ بیشترین رابطه را با تخلخل دارد. نتایج مقایسه مدل‌ها نشان داد که مدل گرین-آمپت اصلاح شده در تیپ‌های *Astragalus ecbatanus*-*Annual Grass*-*Astragalus rhodoseminus* و *Quercus brantii*، *Euphorbia denticulata* و *Annual Grass* به‌ترتیب با ضریب کارایی ۹۲/۷، ۹۴/۵ و ۹۷/۶ و ۸۸/۶ درصد از صحت قابل قبولی نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار بود که می‌توان از این مدل برای کمی‌سازی مقدار نفوذ و همچنین تخمین میزان رواناب در این تیپ‌های گیاهی استفاده کرد. نتایج حاکی از تغییرپذیری نفوذ در تیپ‌های گیاهی مختلف مراتع می‌باشد که می‌بایست در مدیریت بهتر این عرصه‌ها برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: استان لرستان، گون، دابل رینگ، ویژگی خاک، گندمیان یکساله، مدل گرین آمپت.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

^۲ - استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
* نویسنده مسئول: sepahvand.a@lu.ac.ir

^۳ - استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

^۴ - استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه شولینی، سولان، هیمچال پرادش، هند.

مقدمه

نفوذ آب به خاک به‌عنوان فرآیند ورود آب از سطح خاک به داخل ناحیه غیراشباع خاک می‌باشد که نقش اساسی در کنترل آب سطحی و زیرزمینی دارد (۳، ۲۴، ۵۱ و ۶۰). نفوذپذیری عبارت است از مقدار ورود آب سطح خاک به داخل آن که بر حسب ارتفاع آب در واحد زمان (مثلاً سانتی‌متر در ساعت) بیان می‌شود (۵۰ و ۵۱). این فرآیند نقش بسیار مهمی در چرخه آب در طبیعت ایفا می‌نماید (۵۲). نفوذ آب به خاک مهم‌ترین منبع تامین‌کننده آب برای حیات گیاهان می‌باشد (۵۶). علاوه بر عوامل مرتبط با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی که اهمیت زیادی در کنترل نفوذ آب به خاک، شروع رواناب و فرسایش خاک دارند، می‌توان به عوامل مهم دیگری مانند توپوگرافی، مقدار سنگ و سنگ‌ریزه، خصوصیات پوشش گیاهی و مدیریت اشاره کرد (۵ و ۳۸). در این میان، وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی و همچنین نوع پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر نفوذ آب به خاک، سیل‌خیزی و کاهش فرسایش خاک می‌باشد (۱۴ و ۳۰). وجود و احیاء پوشش گیاهی مرتعی در سطح حوضه به دلیل اثراتی که بر اجزاء سیکل هیدرولوژی از جمله افزایش نفوذ آب به درون خاک و کاهش سرعت جریان دارد، از عوامل کاهش‌دهنده سیل‌خیزی و فرسایش در یک حوضه می‌باشد (۲۹، ۵۹ و ۶۲). پوشش گیاهی با تغییر در تاج پوشش، سطح برگ و عمق ریشه‌دوانی، بر ذخیره رطوبتی و همچنین فرسایش خاک تأثیر می‌گذارد (۱۳ و ۶۳). از جنبه هیدرولوژیکی، تاج پوشش گیاهی فرسایش خاک را با گیرش بارندگی و هدایت آب به خاک و کاهش انرژی قطرات باران و تأثیرات فرسایش بارانی و افزایش نفوذپذیری کنترل می‌کند (۵ و ۱۵). تأثیر پوشش گیاهی بر آب خاک در نتیجه تأثیر آن بر سرعت نفوذپذیری، سرعت رواناب و تبخیر و تعرق است (۵ و ۸). در مناطق پوشیده از گیاه، ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند افزایش نفوذ و مواد آلی بسیار بیشتر از مناطق عاری از پوشش است (۲۲ و ۵۹). پوشش گیاهی مراتع علاوه بر تأمین بخش زیادی از علوفه مورد نیاز کشور، نقش مهمی در نفوذ آب به خاک و ذخیره آن دارند. اگر تغییر در پوشش گیاهی تا حد تخریب خاک پیش رود ممکن است هیچ‌گاه پوشش گیاهی اولیه به

منطقه باز نگردد و موجب شود که خاک به‌عنوان مخزن رطوبت عمل نکند. هر عاملی که رطوبت را در خاک کاهش دهد سبب محدود شدن کل فعالیت‌های بیولوژیکی نیز خواهد شد. خاک‌های ضعیف در مناطق خشک و نیمه‌خشک دائماً به‌وسیله فعالیت‌های انسانی، به ویژه از طریق برداشت بیش از حد پوشش گیاهی تهدید می‌شوند. برداشت و بهره‌برداری‌های بی‌رویه گیاهان می‌تواند جریان آب را در سطح مرتع تسریع کند و مقدار آبی را که به خاک فرو می‌رود، کاهش دهد. تغییرات نفوذپذیری به عوامل متعدد مرتبط با گیاه از جمله نوع پوشش گیاهی، مقدار پوشش تاجی، سن گیاه، مواد آلی و مراحل توالی گیاهان موجود در خاک بستگی دارد (۱ و ۲۵). به‌طور کلی شرایط هیدرولوژیکی خاک تحت تأثیر روابط متقابل پیچیده‌ای از فاکتورهای توپوگرافی، خاکی، پوشش گیاهی و مدیریتی است (۴۵) و نفوذپذیری شاخص مناسبی برای نشان دادن آن می‌باشد (۵۷). از این‌رو کمی‌کردن پدیده نفوذ آب به خاک در مدیریت منابع آب و حوزه‌های آبخیز، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. بنابراین انواع مختلفی از مدل‌ها، با درجات مختلفی از پیچیدگی، برای رسیدن به این اهداف توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها برای درک بهتری از فرآیندهای نفوذ طراحی شده‌اند و ابزاری برای ارزیابی و بررسی مشکلات محیطی در کاربری‌های مختلف می‌باشند. تاکنون مطالعات نسبتاً زیادی روی نفوذپذیری در کاربری اراضی مختلف مثل جنگل، مرتع و اراضی کشاورزی انجام شده است که می‌توان به تحقیقات لارسون و الیاسون (۲۰۰۶)، فاخرنیکچه و همکاران (۲۰۱۴)، سهرابی و سعدی‌خانی (۲۰۱۷)، پاتیل و همکاران (۲۰۱۸)، لوکاس-بورجا و همکاران (۲۰۱۹) و غیره اشاره نمود، ولی در سطح تیپ‌های گیاهی که واحد کاری پایه در مطالعات مرتعداری است، پژوهش زیادی انجام نشده است. بیشتر مطالعات در این زمینه، راجع به اثرات شدت‌های مختلف چرا بر روی میزان نفوذ، روان‌آب و رسوب بوده‌اند که می‌توان به تحقیقات مک کالا و همکاران (۱۹۸۴)، پیتولا و همکاران (۲۰۰۵) و غیره اشاره نمود. آقابیگی امین و فتاحی (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر پوشش گیاهی و برخی خصوصیات خاک بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز جفتی در همدان پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که بین تمامی پارامترهای

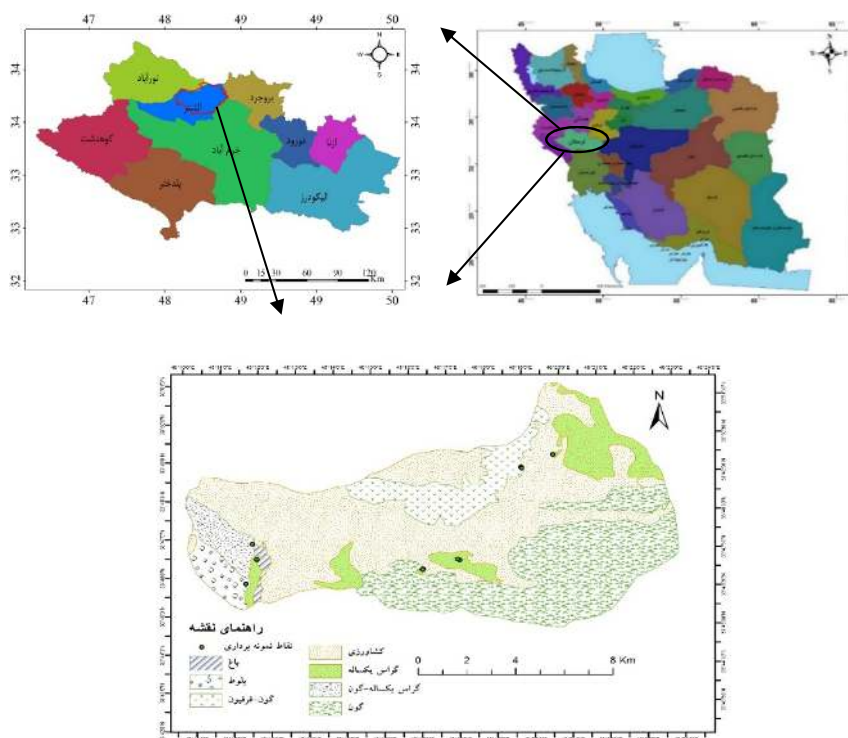
مورد بررسی در هر دو زیر حوضه اختلاف معنی‌دار بوده و در زیرحوضه نمونه، میزان و شدت نفوذپذیری بیشتر و در نتیجه تولید رواناب کمتر از زیرحوضه شاهد بوده است. پینگ‌پینگ و همکاران (۲۰۱۳) به اثر نوع پوشش گیاهی روی نفوذپذیری خاک در چین پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که میزان نفوذپذیری در مراحل اولیه توالی کم و با پیشرفت مراحل توالی با افزایش پوشش گیاهی و ماده آلی بیشتر به خاک افزایش پیدا کرد. در مطالعه دیگری فیسچر و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که تنوع گونه‌های علفزار یا چمنزار در سایت تحقیقاتی جنا در آلمان، نقش مهمی در مقدار نفوذ آب به خاک داشت. آنها بیان کردند که غنای گونه‌های به‌صورت معنی‌داری روی نفوذپذیری تأثیر داشت و تخلخل و ماده آلی را در این امر مهم دانستند در صورتی که بافت خاک رابطه معنی‌دار با نفوذپذیری نشان نداد. داوون و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر پوشش‌های گیاهی مختلف بر رفتار هیدرولوژیکی مناطق لسی چین پرداختند. در تحقیق ایشان تأثیر ۸ گونه مختلف پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان داد که نوع پوشش گیاهی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر ذخیره آب در خاک، رواناب سطحی و همچنین فرسایش خاک مؤثر است. از آن‌جا که پوشش گیاهی نقش مهمی در حفاظت آب و خاک بازی می‌کند، لذا هدف از انجام این تحقیق بررسی میزان تغییرات نفوذپذیری و مدل‌سازی آن در تیپ‌های گیاهی مختلف مراتع به‌منظور شناخت و مدیریت بهتر این عرصه‌ها برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژیکی در بخش مرکزی زاگرس در استان لرستان قرار دارد که خود بخشی از زیر حوضه کرخه می‌باشد. زیر حوضه الشتر با مساحت ۱۴۴/۹ کیلومتر مربع مطابق شکل (۱) بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه و ۲۸ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه و ۲۹ ثانیه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۷ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه و ۲۳ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است. بلندترین نقطه حوضه در بخش شمال غربی با ارتفاع ۲۸۳۴ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه حوضه

در بخش ۵۷۰ میلی‌متر و بر اساس روش دومارتن، اقلیم منطقه نیمه‌خشک و سرد می‌باشد. تیپ‌بندی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث انجام گردید. سپس مرزها در منطقه کنترل و اصلاح گردیدند. به‌طور کلی پنج تیپ گیاهی *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* (گندمیان یکساله-گون)، *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulata* (گون-فرفیون)، *Quercus brantii* (بلوط ایرانی)، *Annual Grass* (گندمیان یکساله) و *Astralalus sp.* (گون) در منطقه مطالعاتی تشخیص داده شد و به‌خاطر در دسترس بودن از چهار تیپ اول نمونه‌برداری صورت گرفت (شکل ۱). در زیر اشکوب تیپ گیاهی بلوط گونه‌های یکساله گندمیان عمدتاً از جنس‌های *Bromus*، *Aegilops*، *Taeniatherum*، *Hordeum* و *Heterantherium* بودند. در تیپ گندمیان یکساله-گون، گونه‌های جنس جد گندم (*Aegilops*) غالب بودند و در تیپ گندمیان یکساله گونه‌های *Hordeum Aegilops* و *Taeniatherum* به‌وفور دیده شدند. در تیپ گون-فرفیون علاوه بر گندمیان ذکر شده گونه کنگر (*Gundelia tournefortii*) نیز به همراه آن‌ها دیده شد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه دسترسی دام به تیپ‌های مورد بررسی آسان بود، احتمالاً افزایش گندمیان یکساله در تیپ‌های مختلف ناشی از چرای بیش حد باشد. چرا که انتظار می‌رفت گونه‌های چندساله گندمیان مثل *Bromus tomentellus* در تیپ‌های مختلف مشاهده شود، ولی این‌گونه نبود. دلیل دیگر وجود چرای بیش از حد، مصرف بیشتر از حد بهره‌برداری مجاز علوفه توسط دام است. با توجه به این‌که علوفه مورد استفاده دام از گیاهان یکساله است، بعد از خروج دام از مرتع، لاشبرگ اندکی بر روی سطح مرتع باقی می‌ماند و قسمت اعظم علوفه توسط دام مصرف می‌شود. جدول (۱) پوشش سطح زمین، وضعیت و گرایش تیپ‌های گیاهی مختلف را نشان می‌دهد. تیپ گندمیان یکساله با ۶۰ درصد، بیشترین درصد پوشش گیاهی و تیپ گون-گندمیان کمترین درصد پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده است. همه تیپ‌های گیاهی دارای وضعیت فقیر و گرایش منفی بودند (جدول ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه روی نقشه ایران، استان لرستان و نقشه تیپ های گیاهی

جدول ۱: برخی از مشخصات رویشگاهی تیپ های گیاهی مورد مطالعه

Annual Grass	Quercus brantii	Astragalus ecbatanus-Euphorbia denticulata	Annual Grass-Astragalus rhodoseminis	مشخصات تیپ
۶۰	۵۰	۴۰	۲۵٪	پوشش گیاهی (/)
۱۵	۱۵	۳۵	۴۰٪	سنگ و سنگریزه (/)
۱۵	۲۰	۱۵	۳۰٪	خاک لخت (/)
۱۰	۱۵	۱۰	۵٪	لاشیرگ (/)
فقیر	فقیر	فقیر	فقیر	وضعیت
منفی	منفی	منفی	منفی	گرایش تیپ
شرقی	شرقی	جنوبی	شرقی	جهت کلی

مضعف به دلیل رایج بودن شیوه و همچنین ایجاد اطلاعات مفید در صورت کاربرد صحیح (۵۱ و ۶۱)، جهت اندازه گیری نفوذ استفاده شد. جهت نشان دادن تغییرات بهتر مقدار نفوذ در طول زمان، در زمان های ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه میزان نفوذ ثبت شد (۵۱ و ۵۲) و در هر یک از تیپ های مختلف گیاهی سه تکرار برداشت شد. در این تحقیق همچنین خصوصیات مختلف تاثیرگذار بر میزان نفوذ خاک نظیر بافت خاک، تخلخل، وزن مخصوص ظاهری، ماده آلی و رطوبت جرمی خاک در مجاور استوانه مضاعف اندازه گیری شد (جدول ۳). نتایج حاصل از

روش تحقیق

در این تحقیق از استوانه مضاعف برای تعیین میزان نفوذ آب و مدل سازی نفوذ در تیپ های گیاهی مختلف در مراتع شهرستان الشتر استفاده شد. نقاط نمونه برداری جهت اندازه گیری نفوذ در هر تیپ پوشش گیاهی به صورت تصادفی انتخاب شدند. با توجه به اینکه ممکن بود نقاط انتخاب شده دارای شیب بوده که مناسب اندازه گیری نفوذ نباشند، لذا با پیمایش صحرائی و دید کارشناسی، نقطه یا نقاط مناسب برای اندازه گیری نفوذ انتخاب شدند. بعد از مشخص شدن محل های نمونه برداری، از استوانه های

در جبهه رطوبتی، L فاصله سطح خاک تا جبهه رطوبتی و I شدت نفوذ می‌باشد (۱۶). به دلیل این که مدل گرین-آمیت قادر نبود طی آزمایش‌هایی پدیده نفوذ را به درستی در خاک‌های غیرهمگن شبیه‌سازی کند، و بالا بودن ریشه میانگین مربعات خطا، این مدل بعداً در سال ۱۹۸۰ توسط Alfara و Hachum به صورت رابطه زیر اصلاح شد و مدل اصلاح شده گرین-آمیت را برای تعیین نفوذ در خاک‌هایی با لایه‌بندی مختلف به کار بردند (۷ و ۳۲).

$$I = \frac{A}{i} + B \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این معادله I سرعت نفوذ، i نفوذ تجمعی و A و B ضرایبی هستند که از روی آزمایش نفوذ به دست می‌آیند. رابطه گرین-آمیت بسیار ساده است و پارامترهای آن را می‌توان به سادگی از روی خصوصیات فیزیکی خاک به دست آورد (۲۱). بنابراین مدل اصلاح شده گرین-آمیت به دلیل سادگی به وفور در تحقیقات هیدرولوژی هم چون مدل SWAT و مدل‌های فرسایش مثل WEPP (۱۷) کاربرد دارد.

مدل هورتون

یکی از ساده‌ترین و کاربردی‌ترین معادلات نفوذ، معادله هورتون می‌باشد. هورتون در سال ۱۹۴۰ پس از مشاهده‌های فراوان درباره چگونگی نفوذ آب در خاک به این نتیجه رسید که ظرفیت نفوذ خاک با افزایش زمان به شدت و تقریباً به صورت توانی نسبت به زمان کاهش می‌یابد، به طوری که در ابتدای بارندگی ظرفیت آن حداکثر و در نهایت به مقدار ثابت می‌رسد. معادله هورتون به صورت رابطه زیر بیان می‌گردد (۲۸، ۴۸ و ۵۰).

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه فوق، نفوذ در زمان t از زمان شروع بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت، شدت نفوذ نهایی بر حسب میلی‌متر بر ساعت (وقتی که نفوذ نسبتاً ثابت شده است)، شدت نفوذ اولیه بر حسب میلی‌متر بر ساعت و t زمان از شروع بارندگی بر حسب ساعت و k ثابت هورتون است که بستگی به کاربری اراضی و جنس خاک دارد. مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS):

اندازه‌گیری میزان نفوذ در هر تیپ گیاهی به صورت نمودار و مقایسه بین مقادیر واقعی و تخمین حاصل از مدل‌های مختلف نفوذ ارائه شده است. به منظور بررسی نموداری نتایج، ابتدا با تهیه بانک اطلاعاتی در نرم‌افزار EXCEL نسخه ۲۰۱۶ یک پایه زمانی مشترک برای تمامی اندازه‌گیری‌ها لحاظ گردید. بر اساس نتایج به دست آمده پایه زمانی ۶۰ دقیقه با توجه به مدت زمان ثابت شدن سرعت نفوذ در تیپ‌های مختلف گیاهی انتخاب شد و نمودارهای تغییرات سرعت نفوذ نسبت به زمان در آن‌ها ترسیم شد. در بخش دیگر تحقیق با استفاده از مدل‌های کوستیاکوف، گرین-آمیت اصلاح شده، هورتون،^۱ SCS و فیلپ، ضرایب مربوط به نفوذ محاسبه شد. در نهایت مدلی که با توجه به معیارهای ارزیابی، بهترین جواب را ارائه داد به عنوان مدل برتر در هر کاربری انتخاب شد. در ادامه توضیح مختصری از مدل‌های استفاده شده در این تحقیق آورده شده است.

مدل کوستیاکوف: کوستیاکوف در سال ۱۹۳۲ رابطه تجربی زیر را برای تعیین مقدار نفوذ تجمعی پیشنهاد کرد. اگر از رابطه (۱) مشتق گرفته شود، به صورت رابطه دوم نمایش داده می‌شود که برای محاسبه نفوذ لحظه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳، ۵۰، ۵۱ و ۵۲).

$$i(t) = ct^{-a} \quad \text{رابطه (۱)}$$

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

در این رابطه 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 (۴، ۵۰ و ۵۱).

مدل گرین-آمیت

گرین و آمیت در سال ۱۹۱۱ معادله ای در شرایط یکنواخت برای نفوذ ارائه دادند. این رابطه از معادله ریچاردز گرفته شده است (۳۲) که به شکل رابطه زیر بیان می‌شود.

$$I = K(H_0 + S_w + L)/L \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه K ضریب هدایت هیدرولیکی خاک، ارتفاع آب انباشته شده در سطح خاک، پتانسیل آب خاک

^۱ - Soil Conservation Service

خطای نسبی (RE)، ضریب کارایی مدل (EF) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد (رابطه های ۱۰ تا ۱۴). مقدار ضریب ENS بین یک تا منفی بی نهایت تغییر می کند. مقدار بهینه این شاخص یک است. اگر میزان آن از ۰/۵ بیشتر باشد، مدل شبیه سازی خوبی داشته است و در صورت منفی شدن آن بهتر است که به نتایج مدل بسنده نشود و از متوسط مقادیر مشاهده ای استفاده شود. ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی مبین اختلاف کلی بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر تخمینی می باشد. میانگین کامل انحراف و درصد خطای نسبی در حالت بهینه یا حالتی که مقادیر برآورده شده و اندازه گیری شده مساوی باشند، برابر با صفر و مقدار کارایی یا راندمان مدل در این حالت به یک نزدیک می شود. مقدار ضریب همبستگی و ضریب کارایی مدل نیز نشان دهنده صحت برازش داده ها می باشد و از منفی بی نهایت در بدترین حالت، تا یک در زمان برازش کامل داده ها تغییر می کند. از بین مدل های مذکور مدلی که از ضریب همبستگی، ضریب ناش سایتکلیف و ضریب کارایی بالاتر، درصد خطای نسبی و ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به صفر برخوردار باشد به عنوان مناسب ترین مدل برای تعیین ضرایب نفوذ در تیپ های مختلف گیاهی مرتعی مورد نظر انتخاب می شود.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$RE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{O_i - P_i}{O_i} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

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

$$i(t) = at^b + c \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه، i مقدار نفوذ تجمعی از زمان شروع نفوذ (سانتی متر)، 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 می گردد. (۵۰)

مدل فیلیپ

یکی دیگر از مدل های نفوذپذیری، مدل فیلیپ است. فیلیپ در سال ۱۹۵۷ معادله ریچاردز را برای جریان غیراشباع به صورت سری توابع توانی حل نمود و به صورت رابطه زیر ارائه کرد:

$$I(t) = ST^{\frac{1}{2}} + (k_2 + k_0)t + k_3t^{\frac{3}{2}} + k_4t^2 + \dots + k_n t^{\frac{n}{2}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه فوق، n از صفر تا بی نهایت تغییر می کند. در عمل معادله ساده شده فیلیپ برای تعیین نفوذ تجمعی به صورت رابطه زیر به کار می رود:

$$I(t) = ST^{\frac{1}{2}} + Kt \quad \text{رابطه (۸)}$$

که اگر از رابطه بالا مشتق گرفته شود، معادله فیلیپ به صورت رابطه زیر بیان می گردد و برای محاسبه نفوذ لحظه ای از آن استفاده می گردد (۹، ۴۴، ۵۰، ۵۱ و ۵۵).

$$i(t) = \frac{1}{2} St^{\frac{1}{2}} + K \quad \text{رابطه (۹)}$$

در این رابطه k ضریب ثابت و تابع هدایت هیدرولیکی خاک بوده و S ضریب جذبی خاک نام دارد. دو ضریب K و S از طریق برازش بهترین نمودار به داده های مشاهداتی به دست می آیند (۹ و ۱۳).

سپس برای ارزیابی دقت مدل های نفوذ از پارامترهای آماری ضریب همبستگی^۱، ضریب نش-سایتکلیف^۲ (NS)،

^۱- Correlation Coefficient

^۲- Nash-Sutcliffe

طولانی‌ترین زمان برای تیمار فرفیون-گون و گندمیان یکساله با میزان یک ساعت می‌باشد. این در حالی است که کوتاه‌ترین زمان تا لحظه تثبیت نفوذ متعلق به تیمار تیپ گندمیان-گون با میزان ۳۰ دقیقه می‌باشد.

بعد از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) برای بررسی تغییرات نفوذپذیری و همچنین ویژگی‌های خاکی در تیپ‌های گیاهی مختلف استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت. از همبستگی پیرسون برای بررسی روابط نفوذپذیری با ویژگی‌های خاکی مورد مطالعه استفاده شد.

نتایج

جدول (۲) نتایج مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که تنها سیلت تفاوت معنی‌دار در تیپ‌های مختلف دارد ($p < 0.01$). تفاوت معنی‌دار بین میزان رس، شن، تخلخل، وزن مخصوص و رطوبت در تیپ‌های پوشش گیاهی مورد مطالعه دیده نشد ($p > 0.05$). خصوصیات فیزیکی خاک در هر تیپ گیاهی نشان می‌دهد که خاک تیپ *Annual Grass-Astragalus rhodoseminus* دارای بیشترین درصد سیلت (۵۴/۳ درصد) و *Annual Grass* دارای کمترین درصد سیلت (۳۴/۹ درصد) می‌باشد. اگر چه تفاوت معنی‌داری بین درصد شن و رس در تیپ‌های مختلف دیده نشد ولی درصد شن در تیپ *Annual Grass* بیشترین درصد (۴۷/۴ درصد) و در تیپ *Astragalus ecbatanus-Euphorbia denticulata* کمترین درصد (۳۲ درصد) و درصد رس در تیپ‌های *Annual Grass* و *Astragalus ecbatanus-Euphorbia denticulata* برابر با ۱۷/۷ درصد بیشترین درصد و در گندمیان یکساله-گون با ۸/۵۵ درصد کمترین بود (جدول ۳).

در روابط فوق، مقدار برآورد شده، مقدار O_i مشاهده شده، \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده و N تعداد داده‌های اندازه‌گیری نفوذ است.

در ادامه با استفاده از رابطه ۱۵ اقدام به محاسبه متوسط سرعت نفوذ نموده که بر این اساس بیشترین و کمترین متوسط سرعت نفوذ به ترتیب در تیپ‌های پوشش گیاهی فرفیون-گون و تیمار گندمیان-گون مشاهده گردید.

$$\bar{I} = \frac{CF}{T} \quad (15)$$

که در این رابطه \bar{I} متوسط سرعت نفوذ، CF مقدار نفوذ تجمعی در کل مدت زمان اندازه‌گیری نفوذ و T کل زمان اندازه‌گیری بر حسب ساعت محسوب می‌گردد. در ادامه پارامتر سرعت نفوذ نهایی مورد محاسبه قرار گرفت که بر اساس محاسبات بیشترین آن با میزان ۱۱/۷ و ۱۱/۴ سانتیمتر بر ساعت به ترتیب در تیپ گیاهی گندمیان یکساله و فرفیون-گون مشاهده شد و همچنین کمترین مقدار سرعت نفوذ نهایی با میزان ۳/۳۶ سانتی‌متر بر ساعت در تیپ بلوط-گندمیان مشاهده شد. متوسط شیب کاهش نفوذ در تعیین اثرات تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی مرتع بر روند تغییرات سرعت نفوذ در زمان‌های مختلف حائز اهمیت بوده که با توجه به این مساله این پارامتر با استفاده از رابطه ۱۶ مورد محاسبه قرار گرفت.

$$I_r = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{T} \quad (16)$$

در این رابطه I_r متوسط شیب کاهش نفوذ نسبت به زمان (سانتی‌متر بر مجذور ساعت)، I_{\max} و I_{\min} به ترتیب حداکثر و حداقل سرعت نفوذ (سانتی‌متر بر ساعت) و T کل مدت زمان اندازه‌گیری نفوذ بر حسب ساعت است. با توجه به این رابطه حداکثر و حداقل شیب کاهش نفوذ به ترتیب در تیمار تیپ پوششی گندمیان-گون و تیمار تیپ پوششی گندمیان یکساله مشاهده شد. در ادامه زمان تا لحظه تثبیت نفوذ برای تمامی حالات محاسبه شد که نتایج خاکی از

جدول ۲: نتایج آزمون ANOVA بر روی برخی ویژگی‌های خاک در چهار تیپ گیاهی

ویژگی	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
رس	بین گروه‌ها	۳	۴۷/۸۳	۰/۵۳ ^{ns}
	خطا	۸	۹۱/۰۹	
سیلت	بین گروه‌ها	۳	۲۹۵/۴۲	۳۴/۳۴ ^{**}
	خطا	۸	۸/۶۰	
شن	بین گروه‌ها	۳	۱۶۶/۶۵	۱/۳۱ ^{ns}
	خطا	۸	۱۲۶/۸۸	
تخلخل	بین گروه‌ها	۳	۲۹/۲۳	۱/۶۸ ^{ns}
	خطا	۸	۱۷/۴۰	
آهک	بین گروه‌ها	۳	۱۰۹/۵۴	۱/۱۱ ^{ns}
	خطا	۸	۹۹/۰۴	
وزن مخصوص	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۹۴	۲/۴۲ ^{ns}
	خطا	۸	۰/۰۳۹	
رطوبت	بین گروه‌ها	۳	۰/۴۱۸	۱/۱۰ ^{ns}
	خطا	۸	۰/۳۸۲	
ماده آلی	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۴۸	۰/۰۳ ^{ns}
	خطا	۸	۱/۳۰	

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، و ns عدم اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهند.

جدول ۳: نتایج برخی خصوصیات خاک در تیپ‌های مختلف گیاهی

تیپ گیاهی	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	تخلخل (درصد)	آهک (درصد)	وزن مخصوص (gr/cm ³)	درصد رطوبت	ماده آلی (درصد)
Annual Grass- Astragalus rhodoseminus	a	۵۴/۳±۰/۰۰۱ ^a	۳۷/۱±۰/۰۰۱ ^a	۴۸±۰/۰۰۱ ^a	۳۱±۰/۰۰۱ ^a	۱/۸۷±۰/۰۰۱ ^a	۱/۸۶±۰/۰۰۴ ^a	۱/۴۷±۰/۰۰۱ ^a
Astragalus ecbatanus-Euphorbia denticulata	۱۷/۷±۲/۸۲ ^a	۵۰/۳±۱/۴۱ ^{ab}	۲۲±۴/۲۴ ^a	۵۴±۰/۰۰۱	۱۳/۱±۲/۶۵	۱/۵۰±۰/۲۵ ^b	۱/۴۲۵±۰/۱۱۳ ^a	۱/۶۸±۱/۹۹ ^a
Quercus brantii	۱۳/۷±۱/۳۰ ^a	۴۵±۲/۳۳ ^b	۴۱/۳±۲/۳۳ ^b	۵۰±۰/۰۰۱ ^a	۲۴/۶۲±۴/۸ ^a	۱/۴۴۵±۰/۱۷ ^a	۱/۲۸±۰/۰۹ ^a	۱/۸۴±۰/۵۲ ^a
Annual Grass	۱۷/۷±۱/۱۳ ^a	۳۴/۹±۳/۳۵ ^c	۴۷/۴±۱۳/۲۹ ^a	۵۴±۴/۹۸ ^a	۲۲/۶±۱/۱۷	۱/۴۶±۰/۲۰ ^a	۲/۰۳۱±۰/۱۷۳ ^a	۱/۷۱±۱/۱۲ ^a

اعداد داخل جدول میانگین±انحراف معیار را نشان می‌دهد. حروف مشابه غیر معنی‌داری و حروف نامشابه معنی‌داری در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد.

بر روی سطح خاک به شکل رواناب رها سازد. تیپ گیاهی *Annual Grass* با میزان ۱۴/۳ سانتی‌متر در ساعت در رتبه دوم بیشترین مقدار نفوذ متوسط قرار گرفت. همچنین حداکثر سرعت نفوذ با مقدار ۳۷/۲ سانتی‌متر در ساعت متعلق به تیپ گیاهی *Astragalus ecbatanus-* *Euphorbia denticulata* و حداقل سرعت نفوذ با مقدار ۲۲/۸ سانتی‌متر در ساعت متعلق به تیپ گیاهی *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* می‌باشد.

جدول (۴) نتایج مربوط به خصوصیات نفوذ اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. مطابق نتایج این جدول تفاوت معنی‌داری در خصوصیات نفوذ اندازه‌گیری شده در تیپ‌های گیاهی مختلف مشاهده نشد ($p > 0.05$). اگر چه از نظر آماری نفوذ متوسط در تیپ‌های مختلف معنی‌دار نبود، ولی بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب متعلق به تیپ *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulata* و تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* با میزان ۶/۲۵ و ۱۴/۴ سانتی‌متر در ساعت می‌باشد که این تفاوت می‌تواند حجم وسیعی از آب را به داخل خاک نفوذ دهد یا

جدول ۴: نتایج آزمون ANOVA بر روی ویژگی‌های نفوذ اندازه‌گیری شده در چهار تیپ گیاهی

ویژگی	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
نفوذ تجمعی	بین گروه‌ها	۳	۸۰/۹۳	۰/۸۵ ^{NS}
	خطا	۸	۹۵/۰۶	
حداکثر سرعت نفوذ	بین گروه‌ها	۳	۱۹۱/۷۳	۰/۸۱ ^{NS}
	خطا	۸	۲۳۶/۵۴	
متوسط سرعت نفوذ	بین گروه‌ها	۳	۸۰/۹۳	۰/۸۵ ^{NS}
	خطا	۸	۹۵/۰۶	
سرعت نفوذ نهایی	بین گروه‌ها	۳	۸۷/۹۸	۱/۳۰ ^{NS}
	خطا	۸	۸۴/۷۷	
زمان تا لحظه تثبیت نفوذ	بین گروه‌ها	۳	۰/۰۶۰	۰/۸۵ ^{NS}
	خطا	۸	۰/۰۷۰	
شیب کاهش نفوذ	بین گروه‌ها	۳	۱۹/۹۱	۰/۰۲۵ ^{NS}
	خطا	۸	۸۰۸/۹۴	

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، و NS عدم اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهند.

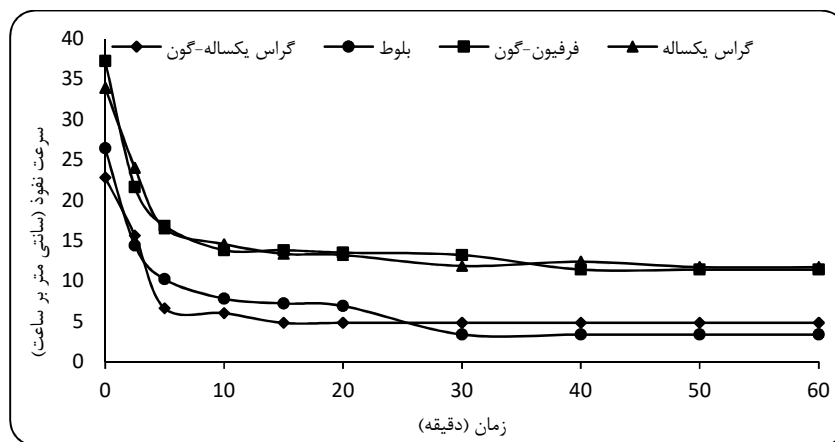
جدول ۵: ویژگی‌های نفوذ اندازه‌گیری شده در تیپ‌های مختلف گیاهی

تیپ پوشش گیاهی	نفوذ تجمعی (Cm) تا زمان ۶۰ دقیقه	حداکثر سرعت نفوذ (Cm/h)	متوسط سرعت نفوذ (Cm/h)	سرعت نفوذ نهایی (Cm/h)	زمان تا لحظه تثبیت نفوذ (h)	شیب کاهش نفوذ (cm/h ²)
Annual Grass-Astragalus rhodoseminus	۶/۲۵±۰/۶۰ ^a	۲۲/۸±۶ ^a	۶/۲۵±۵/۶۰ ^a	۴/۸±۱/۵۸ ^a	۰/۵±۰/۱۲ ^a	۳۶±۲۱/۰۹ ^a
Astragalus ecbatanus-Euphorbia denticulata	۱۴/۴±۷/۵ ^a	۳۷/۲±۱۵/۶۰ ^a	۱۴/۴±۷/۵ ^a	۱۱/۴±۸/۱۴ ^a	۱±۰/۶۳ ^a	۳۰/۹۶±۱۵/۸۴ ^a
Quercus brantii	۶/۶۳±۱/۳۷ ^a	۲۶/۴±۹ ^a	۶/۶۳±۱/۳۷ ^a	۳/۳۶±۳/۱۸ ^a	۰/۸۳۳±۰/۵۸ ^a	۲۷/۶۴±۳۷/۰۵ ^a
Annual Grass	۱۴/۳±۱۲/۶۴ ^a	۳۳/۹±۶/۴۵ ^a	۱۴/۳±۱۲/۶۴ ^a	۱۱/۷±۱۱/۶۱ ^a	۱±۰/۶۳ ^a	۲۲/۲±۳۰/۱۸ ^a

اعداد داخل جدول میانگین±انحراف معیار را نشان می‌دهد. حروف مشابه غیر معنی‌داری و حروف نامشابه معنی‌داری در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد.

است. شکل ۲ به خوبی تغییرات میزان سرعت نفوذپذیری را در تیپ‌های گیاهی مختلف نشان می‌دهد.

برای مقایسه کلی تغییرات سرعت نفوذ نسبت به زمان اقدام به ترسیم نمودارهای مربوط به نفوذ آب در تیپ‌های مختلف گیاهی نموده است که نتایج حاصله در شکل ۲ آمده



شکل ۲: روند تغییرات سرعت نفوذ در تیپ‌های مطالعه شده

تخلخل خاک بیشتر می‌شود (جدول ۶). رطوبت اولیه با هیچ‌کدام از فاکتورهای مورد بررسی رابطه معنی‌دار نشان نداد. نفوذ متوسط بیشترین رابطه همبستگی را با تخلخل

نتایج همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی نشان می‌دهد که تخلخل رابطه معنی‌داری در سطح یک درصد با شن دارد، به‌نحوی که هر چه مقدار شن بیشتر شود میزان

تخلخل رابطه مثبت داشت و در سطح ۵ درصد معنی دار بود. حداکثر سرعت نفوذ با تخلخل در سطح ۵ درصد معنی دار بود و رابطه مثبت داشتند. رابطه زمان تا لحظه تثبیت نفوذ با سیلت و شن در سطح ۵ درصد معنی دار شد به نحوی که رابطه آن با سیلت منفی و با شن مثبت بود.

داشت که در سطح ۵ درصد معنی دار و رابطه مثبت بود. یعنی با افزایش میزان تخلخل میزان نفوذ متوسط نیز افزایش پیدا می کند. سرعت نفوذ نهایی بیشترین رابطه همبستگی را با شن داشت که در سطح ۱ درصد معنی دار و رابطه مثبت بود و رابطه آن با سیلت در سطح ۵ درصد معنی دار و رابطه منفی بود. همچنین سرعت نفوذ نهایی با

جدول ۶: رابطه همبستگی بین متغیرهای خاکی مورد مطالعه و نفوذپذیری

پارامتر	رس	سیلت	شن	تخلخل	وزن مخصوص	ماده آلی	رطوبت اولیه خاک	نفوذ متوسط	سرعت نفوذ نهایی	حداکثر سرعت نفوذ	زمان تا لحظه تثبیت نفوذ (h)	شیب کاهش نفوذ
رس	۱											
سیلت	-۰/۱۲	۱										
شن	-۰/۶۷**	-۰/۶۴*	۱									
تخلخل	-۰/۴۶	-۰/۵۱	-۰/۷۳**	۱								
وزن مخصوص	۰/۱۶	۰/۵۶*	-۰/۵۴*	-۰/۴۵	۱							
ماده آلی	۰/۳۲	۰/۰۴	-۰/۲۷	-۰/۴۷	-۰/۱۴	۱						
رطوبت اولیه	۰/۰۶	-۰/۴۳	-۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۲۱	۱					
نفوذ متوسط	-۰/۳۸	-۰/۲۵	-۰/۴۸	۰/۵۵*	-۰/۳۴	-۰/۳۶	-۰/۲۱	۱				
سرعت نفوذ نهایی	-۰/۲۷	-۰/۶۱*	۰/۶۶**	۰/۶۱*	۰/۱۷	-۰/۰۱	-۰/۳۶	-۰/۱۰	۱			
حداکثر سرعت نفوذ	-۰/۰۳	-۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۵۳*	-۰/۱۵	-۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۷	-۰/۱۰	۱		
زمان تا لحظه تثبیت نفوذ (h)	-۰/۰۹	-۰/۶۵*	۰/۵۵*	۰/۴۳	-۰/۳۶	-۰/۳۹	۰/۰۶	۰/۴۷	۰/۱۹	-۰/۱۵	۱	
شیب کاهش نفوذ	۰/۰۳	۰/۱۴	-۰/۱۰	-۰/۰۶	-۰/۲۲	۰/۶۶**	۰/۱۰	۰/۱۴	-۰/۵۶*	۰/۲۴	-۰/۰۸	۱

* اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد را نشان می دهند.

انتخاب شد. در تیپ *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulate* مدل گرین-آمپت اصلاح شده به ترتیب از ضرایب کارایی و ناش ۰/۹۴۵ و ۰/۹۴۶۰ بر خوردار بوده و همچنین دارای ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای نسبی به ترتیب ۱/۸۴۵ و ۰/۰۵۳ بود که کارایی بیشتر این مدل در مقایسه با دیگر مدل ها را نشان می دهد. در صورتی که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا از ضرایب کارایی و ناش پایین تر و خطای بیشتری نسبت به دیگر مدل ها برخوردار است که این نتایج کارایی پایین این مدل را در *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulate* نشان می دهد. معیارهای سنجش خطا در تیپ گیاهی *Quercus brantii* نشان می دهد که مدل گرین-آمپت اصلاح شده به ترتیب از ضرایب کارایی و ناش ۰/۹۷۶ و ۰/۹۷۶۵ و همچنین از ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای نسبی به ترتیب ۱/۰۸۳ و ۲/۰۳۴ برخوردار بوده است و به عنوان مدل بهینه در این تیپ گیاهی انتخاب شده است.

نتایج مربوط به معیارهای سنجش خطا در رابطه با هر یک از مدل های نفوذپذیری در تیپ های گیاهی مختلف در جدول (۷) ارائه شده است. معیارهای سنجش خطا در تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* نشان می دهد که مدل گرین-آمپت اصلاح شده به ترتیب از ضرایب کارایی و ناش ۰/۹۲۷ و ۰/۹۲۷۸ بوده و همچنین دارای ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۱/۶۹۶ است. بر اساس این نتایج مدل ذکر شده به عنوان مناسب ترین تخمین گر میزان نفوذ در تیپ گیاهی *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* انتخاب شد. علاوه بر این مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا با میزان ضرایب کارایی مدل و ناش ۰/۱۰۴ و ۰/۱۰۴۵ و ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۵/۹۷۴ بود که در مقایسه با دیگر مدل ها دارای ضرایب کارایی و ناش پایین تری و همچنین خطای بیشتری بود که بر این اساس این مدل به عنوان نامناسب ترین تخمین گر در تیپ گیاهی *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus*

دیگر مدل‌ها از با ضرایب کارایی و ناش پایین‌تر و همچنین از میزان خطای بیشتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل گرین-آمپت اصلاح شده در تمام تیپ‌های گیاهی مختلف به‌عنوان بهترین مدل نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا نسبت به دیگر مدل‌ها از دقت پایین‌تری برخوردار است.

در صورتی که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا با مقدار ضرایب کارایی و ناش ۰/۳۰۷ و ۰/۳۰۷۵ و همچنین میزان خطای بیشتری در مقایسه با دیگر مدل‌ها برخوردار بود. مدل گرین-آمپت اصلاح شده به‌ترتیب دارای ضرایب کارایی و ناش ۰/۸۸۶۲ و ۰/۹۷۸۴ بوده و ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۲/۴۴۱ در تیپ *Annual Grass* می‌باشد. در صورتی که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا در مقایسه با

جدول ۷: معیارهای سنجش خطا در رابطه با هر یک از مدل‌های نفوذپذیری در تیپ‌های گیاهی مختلف

تیپ گیاهی	نوع مدل	ضریب کارایی	ریشه میانگین مربعات خطا	درصد خطای نسبی	ضریب همبستگی	ضریب ناش
Annual Grass- Astragalus rhodoseminus	کوستیاکوف	۰/۸۴۹	۲/۴۴۵	۵/۰۲۴	۰/۹۷۰	۰/۸۴۹۹
	گرین-آمپت اصلاح شده	۰/۹۲۷	۱/۶۹۶	-۲/۱۶۴	۰/۹۶۳	۰/۹۲۷۸
	هورتون	۰/۳۱۳	۵/۲۳۱	۱۴/۳۸۶	۰/۹۸۶	۰/۳۱۳۴
	سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۱۰۴	۵/۹۷۴	۰/۸۴۷	۰/۹۳۸	۰/۱۰۴۵
Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulata	فیلیپ	۰/۸۱۹	۲/۶۸۲	۱/۹۴۶	۰/۹۷۲	۰/۸۱۹۵
	کوستیاکوف	۰/۹۰۲	۲/۴۸۳	۳/۵۶۷	۰/۹۶۹	۰/۹۰۲۱
	گرین-آمپت اصلاح شده	۰/۹۴۵	۱/۸۴۵	۰/۰۵۳	۰/۹۷۲	۰/۹۴۶۰
	هورتون	۰/۸۷۲	۲/۸۳۲	-۲/۶۲۸	۰/۹۳۵	۰/۸۷۲۷
Quercus brantii	سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۴۲۶	۶/۰۱۴	۴/۸۲۲	۰/۹۴۴	۰/۴۲۶۰
	فیلیپ	۰/۸۵۶	۳/۰۰۶	۲/۹۷۸	۰/۹۸۷	۰/۸۵۶۶
	کوستیاکوف	۰/۹۰۷	۲/۱۴۳	-۴/۷۸۵	۰/۹۹۳	۰/۹۰۷۸
	گرین-آمپت اصلاح شده	۰/۹۷۶	۱/۰۸۳	-۲/۰۳۴	۰/۹۸۸	۰/۹۷۶۵
Annual Grass	هورتون	۰/۳۱۷	۵/۸۳۱	-۷/۶۴۱	۰/۹۷۳	۰/۳۱۷۹
	سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۳۰۷	۵/۸۷۵	-۱۱/۷۱۲	۰/۹۸۰	۰/۳۰۷۵
	فیلیپ	۰/۸۵۶	۲/۶۷۶	-۱۰/۹۹۵	۰/۹۹۴	۰/۸۵۶۳
	کوستیاکوف	۰/۸۸۵	۲/۴۵۴	-۴۰/۴۶۹	۰/۹۶۶	۰/۸۸۵
Annual Grass	گرین-آمپت اصلاح شده	۰/۸۸۶۲	۲/۴۴۱	-۴۹/۸۳۴	۰/۷۰۹	۰/۹۷۸۴
	هورتون	۰/۶۷۹۳۷	۴/۰۹۸۴	۱۶/۷۵۳	۰/۳۵۵	۰/۶۷۹۴
	سازمان حفاظت خاک آمریکا	۰/۵۳۶۱۹	۴/۹۲۹۳	-۲۷/۹۸۱۶	۰/۷۱۷	۰/۵۳۶۲
	فیلیپ	۰/۸۷۴۷	۲/۵۶۱۸	-۴۵/۵۶۸۵	۰/۹۵۹	۰/۸۷۴۷

بحث و نتیجه‌گیری

برای تیپ *Quercus brantii* را در حوزه آبخیز کاکاشرف برابر با ۹/۵۳ و برای مرتع، ۸/۴ سانتی‌متر در ساعت گزارش کردند که با نتایج این تحقیق تفاوت‌هایی دارد. این تفاوت‌ها ممکن است ناشی از تغییرپذیری زیاد نفوذپذیری در تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی و حتی کاربری‌های مختلف باشد که تحت تاثیر روابط متقابل پیچیده‌ای است که ناشی از فاکتورهای توپوگرافی، خاکی، پوشش گیاهی و مدیریتی است (۴۵ و ۵۷). این موضوع به شکل آماری در انحراف معیار بالا در شاخص‌های نفوذپذیری اندازه‌گیری شده در تیپ‌های گیاهی مختلف نمایش داده شده است و می‌تواند به‌عنوان یکی از دلایل عدم معنی‌داری نفوذپذیری علی‌رغم تفاوت ۲/۳ برابری در تیپ‌های مختلف به شمار رود. نتایج نشان داد که کمترین مقدار نفوذ (۶/۲۵) سانتی‌متر در

نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه نفوذپذیری در تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی از نظر آماری تفاوت معنی‌دار نشان نداد ولی شاخص متوسط نفوذ در تیپ‌های *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus*، *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulata* و *Quercus brantii* به‌ترتیب برابر با ۶/۲۵، ۱۴/۴، ۱۴/۳ و ۶/۶۳ سانتی‌متر در ساعت می‌باشد که تفاوت ۲/۳ برابری حداقل متوسط نفوذ را نسبت به حداکثر آن در تیپ‌های گیاهی مختلف نشان می‌دهد. اگر چه این اختلاف معنی‌دار نشد ولی می‌تواند حجم وسیعی از آب را به خاک نفوذ دهد و یا این که برعکس حجم وسیعی از آب را در سطح زمین جاری سازد. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۶) مقدار نفوذ

مهم در تشکیل خاکدانه‌ها و شکل‌دهی ساختمان خاک می‌باشد به نظر می‌رسد به عنوان یک عامل اصلاح‌کننده در دو تیپ ذکر شده عمل کرده است و باعث تشکیل ساختمان خاک مناسب‌تری شده است و در نتیجه باعث شده است تا نفوذپذیری افزایش یابد. در این مورد محققان بیان کرده‌اند که بافت خاک به‌ندرت به‌تنهایی نفوذ آب به خاک را کنترل می‌کند و هدایت هیدرولیکی خاک بیشتر وابسته به ویژگی‌های ساختمانی خاک است (۱۸، ۳۹، ۴۳، ۵۸ و ۶۵). با این حال بافت خاک اغلب روی ویژگی‌های ساختمانی خاک تاثیر می‌گذارد و از این رو اثرات غیرمستقیمی روی نفوذ آب به خاک دارد (۱۱). در این رابطه یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی که با تعداد زیادی از فاکتورهای نفوذ مثل متوسط نفوذ، سرعت نهایی نفوذ و حداکثر سرعت نفوذ رابطه قوی معنی‌دار و مثبت نشان داد تخلخل خاک بود که می‌تواند نقش مهمی در نفوذ آب به خاک بازی کند.

مدل سازی نفوذپذیری با استفاده از مدل‌های تجربی در تیپ‌های مختلف گیاهی نشان داد که در تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus*، مدل گرین-آمپت اصلاح شده با مقدار ضرایب کارایی و ناش ۰/۹۲۷ و ۰/۹۲۷۸ و ضریب همبستگی ۰/۹۶۳ و با دارا بودن میزان خطای پایین، به‌عنوان بهترین مدل معرفی شد که با نتایج لشنی‌زند و همکاران (۲۰۱۱) مغایرت دارد و همچنین مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا در مقایسه با سایر مدل‌ها به‌عنوان نامناسب‌ترین مدل معرفی شد که این نتایج با نتایج ذوالفقاری و همکاران (۲۰۱۲) که مدل کاستیاکف-لوئیز را به‌عنوان بهترین مدل در تخمین نفوذ آب به خاک معرفی کرده بودند همخوانی ندارد. در تیپ *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulata* مدل گرین-آمپت اصلاح شده با توجه به ضرایب کارایی و ناش به ترتیب ۰/۹۴۵ و ۰/۹۴۶ و درصد خطای پایین به‌عنوان بهترین مدل شناخته شد که با نتایج ما و همکاران (۲۰۰۹) که بر روی مدل سازی نفوذ در خاک‌های لایه‌ای پرداختند و مدل گرین-آمپت اصلاح شده نسبت به سایر مدل‌ها همخوانی بیشتری داشت، مطابقت دارد و مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا به‌عنوان ضعیف‌ترین مدل معرفی گردید که با نتایج به دست آمده از مطالعات لشنی‌زند و همکاران (۲۰۱۱) که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا را به‌عنوان بهترین مدل

در تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* مشاهده شد. مقایسه درصد اجزای بافت خاک نشان می‌دهد که مقدار سیلت (۵۴/۳ درصد) در این تیپ بیشتر از باقی تیپ‌ها می‌باشد و تفاوت معنی‌دار با تیپ‌های دیگر نشان داد. مطالعات نشان داده است که بعد از رس، مقدار سیلت عامل مهمی در کاهش نفوذپذیری می‌باشد (۱۰). به‌طور مشابهی محمودآبادی و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که رس و سیلت رفتار متفاوتی نسبت به شن در نفوذ آب در خاک و تولید رواناب دارند؛ به نحویکه رس و سیلت باعث کاهش نفوذپذیری می‌شوند. اگر چه وزن مخصوص ظاهری و تخلخل تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* معنی‌دار نشد ولی این تیپ دارای بیشترین وزن مخصوص ظاهری (۱/۸۷ گرم بر سانتی مترمکعب) و کمترین تخلخل (۴۸ درصد) می‌باشد. نتایج همبستگی نشان می‌دهد که وزن مخصوص ظاهری رابطه معنی‌دار و مثبت با سیلت و رابطه معنی‌دار و منفی با شن دارد. همچنین تخلخل رابطه قوی معنی‌دار و مثبت با مقدار شن دارد. ترکیبی از این عوامل می‌توانند روی مقدار کم نفوذ در تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* دخالت داشته باشند. در این رابطه گومنز و همکاران (۱۹۹۹) دریافتند که با کاهش وزن مخصوص ظاهری ناشی از عملیات خاکورزی، نفوذپذیری افزایش یافته است. ولی در صورت تکرار بی‌رویه شخم و در نتیجه افزایش وزن مخصوص، کاهش خلل و فرج و فشردگی خاک، میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد. به‌خاطر این‌که اثرات وزن مخصوص ظاهری در پایداری ساختمان خاک، فعالیت بیولوژیکی و هوادهی خاک نمود پیدا می‌کند، وزن مخصوص ظاهری شاخص خوبی برای تفسیر خلل و فرج خاک و کانال‌های جریان آب در خاک می‌باشد (۱۱). خاک‌های با وزن مخصوص بالا اغلب دارای میزان نفوذ پایین هستند و خاک‌های با وزن مخصوص ظاهری پایین معمولاً دارای مقدار نفوذ بالا می‌باشند (۱۲، ۴۲ و ۶۵). بیشترین متوسط نفوذ در تیپ *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulata* و سپس در *Annual Grass* دیده شد. به‌نظر می‌رسد مقدار رس (۱۷ درصد) که در این دو تیپ دیده شده است به‌صورت غیرمستقیم عامل مهمی در میزان نفوذپذیری آن‌ها باشد و با توجه به این‌که رس یک کلئید

به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد اگر چه میزان نفوذپذیری تفاوت معنی‌داری در تیپ‌های مختلف گیاهی نشان نداد ولی مقدار متوسط نفوذ در تیپ *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulate* برابر با $14/4 \text{ cm/h}$ ، بیشترین و در تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* برابر با $6/25 \text{ cm/h}$ کمترین مقدار بود که تفاوت $2/3$ برابری را نشان می‌دهد. این تفاوت $2/3$ برابر می‌تواند حجم وسیعی از آب را به داخل خارج نفوذ دهد یا اینکه در سطح خاک رهاسازی کند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاکی که با تعداد زیادی از فاکتورهای نفوذ مثل متوسط نفوذ، سرعت نهایی نفوذ و حداکثر سرعت نفوذ رابطه قوی معنی‌دار و مثبت نشان داد تخلخل خاک بود که می‌تواند نقش مهمی در نفوذ آب به خاک بازی کند. نتایج مقایسه مدل‌ها نشان داد که مدل گرین-آمپت اصلاح شده در تیپ‌های گیاهی *Annual Grass- Astragalus ecbatanus- Euphorbia rhodoseminus* و *Quercus brantii denticulata* به ترتیب با ضریب کارایی $92/7$ ، $94/5$ ، $97/6$ و $88/6$ درصد از صحت قابل قبولی نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار بود که می‌توان از این مدل برای کمی‌سازی مقدار نفوذ و همچنین تخمین میزان رواناب در این تیپ‌های گیاهی استفاده کرد. نتایج حاکی از اهمیت اکوسیستم‌های مرتعی در حفظ آب و همچنین تغییرپذیری نفوذ در تیپ‌های گیاهی مختلف می‌باشد که می‌بایست در مدیریت این عرصه‌ها مدنظر قرار گیرد.

در کاربری مرتع معرفی کرده بودند مغایرت دارد. در تیپ *Quercus brantii*، مدل گرین-آمپت اصلاح شده با مقدار ناش $0/9765$ و مقدار ضریب همبستگی $0/988$ در مقایسه با سایر مدل‌ها از کارایی بالاتری برخوردار بود. به‌طور مشابهی در مطالعه‌ای که ترنر (۲۰۰۶) روی عملکرد مدل‌های نفوذ در توانایی آن‌ها در برآورد سرعت نفوذ انجام داد به این نتیجه رسید که مدل گرین-آمپت اصلاح شده نسبت به سایر از کارایی بیشتری برخوردار است. همچنین مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) با میزان خطای بیشتر و ضریب همبستگی کمتر نسبت به سایر مدل‌ها، به‌عنوان بدترین مدل شناخته شد. این نتایج به‌طور مشابهی که چاهینیان و همکاران (۲۰۰۵) و سپهوند و همکاران (۲۰۱۱) روی مدل‌های نفوذ انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، مدلی نامناسب نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد، مطابقت داشت، اما با نتایج حاصل از مطالعات ملکی و همکاران (۲۰۰۵) که مدل SCS را به‌عنوان بهترین مدل معرفی کرده بودند، مغایرت دارد. در تیپ *Annual Grass*، مدل گرین-آمپت اصلاح شده با توجه به ضرایب کارایی و ناش به ترتیب $0/8862$ و $0/9784$ و با ضریب کارایی بالاتر و درصد خطای پایین‌تر نسبت به دیگر مدل‌ها به‌عنوان بهترین مدل شناخته شد، این نتایج با نتایج ما و همکاران (۲۰۰۹) که مدل گرین-آمپت اصلاح شده را به عنوان برترین مدل نسبت به سایر مدل‌ها برای مدل‌سازی نفوذ معرفی کرده بودند همخوانی داشت. در مجموع با توجه به نتایج مربوط به مدل‌سازی در تیپ *Annual Grass*، مشخص شد که تقریباً تمامی مدل‌ها از کارایی و دقت پایینی برای مدل‌سازی نفوذپذیری این تیپ گیاهی برخوردار هستند.

References

1. Abdel-Majid, A.H, M.J. Trilica & R.H. Hart, 1987. Soil and vegetation responses simulated trampling. *Journal of Range management (USA)*, 40: 303-306.
2. Agha Beige Amin, S. & B. Fattahi, 2017. Investigation of the effect of vegetation and some soil properties on the hydrological behavior of watersheds. *Rangeland*, 11(1): 83-92. (In Persian)
3. Alizadeh, A., 2014. Soil physics, Imam Reza University Publication. Six edition, 568 p. (In Persian)
4. Alizadeh, A., 2020. Applied hydrology, Imam Reza International University. Forty-third edition, 941 p. (In Persian)
5. Angelaki, A., M. Sakellariou-Makrantonaki & C. Tzimopoulos, 2013: Theoretical and experimental research of cumulative infiltration, *Transp. Porous Media*, 100(2): 247-257.

6. Cardwell, A., 2017. The effect of land use on infiltration in Taita Hills, Kenya. Master's thesis in Geography, Faculty of Science, Department of Geosciences and Geography, university of Helsinki. 88p.
7. Celik, I., 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil & Tillage Research*, 83: 279-277.
8. Chahinian, N., R. Moussa, P. Andrieux & M. Voltz, 2005. Comparison of infiltration models to simulate flood events at the field scale. *Journal of Hydrology*, 306: 191-214.
9. Chari, M., M. Poozan & P. Afrasiab, 2020. Modelling soil water infiltration variability using, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.
10. Chu, X., & A.M. Miguel, 2005. Determination of ponding condition and infiltration into layered soils under unsteady rainfall. *Journal of Hydrology*, 313: 195-207.
11. Coduto, D., 1999. *Geotechnical engineering: principles and practices*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
12. Cubera, E., & G. Moreno, 2007. Effect of land-use on soil water dynamic in dehesas of Central-Western Spain. *CATENA*, 71(2): 298-308.
13. Delleur, J.W., 2007. *The Handbook of Groundwater Engineering*. 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis, 1342pp.
14. Donohue, R.J., M.L. Roderick & T.R. McVicar, 2007. On the importance of including vegetation dynamics in Budyko's hydrological model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(2): 983-995.
15. Duan, I., M. Huang & L. Zhang, 2016. Differences in hydrological responses for different vegetation types on a steep slope on the Loess Plateau, China, *Journal of Hydrology*, 537: 356-366.
16. Esteves, M., S. Faucher, S. Galle & M. Vaclin, 2000. Overland flow and infiltration modeling for small plots during unsteady rainfall. *Journal of Hydrology*, 228: 265-282.
17. Fakhri Nikcheh, A., M. Vafakhah & 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.
18. Fischer, C., C. Roscher, B. Jensen, N. Eisenhauer, J. Baade, S. Attinger & A. Hildebrandt, 2014. How do earthworms, soil texture and plant composition affect infiltration along an experimental plant diversity gradient in grassland?. *PloSone*, 9: e98987.
19. Fischer, C., J. Tischer & C. Roscher, 2015. Plant species diversity affects infiltration capacity in an experimental grassland through changes in soil properties. *Plant Soil*, 397: 1-16.
20. Flanagan, D.C., J.C. Ascough, M.A. Nearing & J.M. Laflen, 2001. The Water Erosion Prediction Project (WEPP) model. In: Harmon, R.S., Doe III, W.W., (Eds), *Land-scape Erosion and Evolution Modeling*. Kluwer Acad. Publ., Norwell, MA: 145-199.
21. Garnei, A., H. Emami & R. Khorasani, 2017. Effect of three Crop Types on Run-off and Sediment Content on Margin of Mashhad city. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(11): 11-20. (In Persian)
22. Goamez, J.A., J.V. Giraldez, M. Pastor & E. Fereres. 1999. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. *Soil and Tillage Research*, 52(3-4): 167-175.
23. Govindaraju, R.S., C. Corradini & R. Morbidelli, 2006. A semi-analytical model of expected areal-average infiltration under spatial heterogeneity of rainfall and soil saturated hydraulic conductivity. *Journal of Hydrology*, 316: 184-194.
24. Hoseini, S.A., M. Tavan & H. Eisaei, 2011. Investigation on water infiltration of different vegetation types in saline and alkali rangelands of Inchehbroon, Golestan province. *Iranian journal of Range and Desert Research*, 18(2): 191-280. (In Persian)
25. Huang, D. & Q.S. Liu, 2013. Remote sensing monitoring and effect evaluation on ecological restoration of heidaigou coal mining area. In: *International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, RSETE 2013*. <http://dx.doi.org/10.2991/rsete.2013.40>
26. Jiménez, J.N.C., J. Fuentes, G. Morillas & M. Tejedor, 2012. Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain), *CATENA*, 98: 55-62.
27. Lado, M., A. Paz & M. Ben-Hur. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Science Society of America Journal*, 68(3): 935-942.
28. Larsson, M., & S. Eliasson, 2006. The Influence of Land-Use Change, Root Abundance and Macrospores on Saturated Infiltration Rate-a Field Study on Western Java, Indonesia. *Water Resources Engineering* (http://www.uppsats.se/uppsats_7/7c6b162347.php).

29. Lashani Zand, M., A. Sepavand & S.KH. Taei Smiromi, 2011. Comparison of infiltration models and determination of the infiltration in order to apply optimal management in rangeland and forest lands. *Iranian Journal of Natural Ecosystems*, 2(2): 11-23. (In Persian)
30. Lei, H., Zh. Peng, H. Yigang & Zh. Yang, 2015. Vegetation succession and soil infiltration characteristics under different aged refuse dumps at the Heidaigou opencast coal mine. *Global Ecology and Conservation*, 4: 255-263.
31. Li, Z., G. Zhang, R. Geng, H. Wang & X. Zhang, 2015. Land use impacts on soil detachment capacity by overland flow in the Loess Plateau, China. *Catena*, 124: 9-17.
32. Liu Q., T.R. McVicar, Zh. Yang, R.J. Donohue, L. Liang & Y. Yang, 2016. The hydrological effects of varying vegetation characteristics in a temperate water-limited basin: Development of the dynamic Budyko-Choudhury-Porporato (dBCP) model, *Journal of Hydrology*, 543(Part B): 595-611.
33. Loaiciga, H.A. & A. Huang, 2007. Ponding analysis with Green-Ampt infiltration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(1):109-112.
34. Lucas-Borja, M.E., D.A Zema, P.A Plaza-Álvarez, V. Zupanc, J. Baartman, J. Sagra, J. González-Romero, D. Moya & J.D.I. Heras, 2019. Effects of Different Land Uses (Abandoned Farmland, Intensive Agriculture and Forest) on Soil Hydrological Properties in Southern Spain. *Water*, 11(3): 503.
35. Ma, Y., S. Feng, D. Su, G. Gao & Z. Huo, 2009. Modeling Water Infiltration in a Large Layered Soil Column with a Modified Green- Ampt Model and HYDRUS-1 D. *Computers in Agriculture*, doi: 10.1016/j. compag. 2009. 07.006
36. Mahmoodabadi, M., A. Charkhabi & H. Rafahi, 2007. Effect of soil physical and chemical properties on runoff generation and sediment yield using rainfall simulator. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 8(2): 1-16. (In Persian)
37. Maleki, A., M. Behzad & M. Boroumand nasab, 2005. Determination of infiltration by soil physical properties. *Iranian Journal Agricultural Sciences*, 6(36): 27-46. (In Persian)
38. Mazaheri, M. R., & M. Mahmoodabadi, 2012. Study on infiltration rate based on primary particle size distribution data in arid and semiarid region soils. *Arabian Journal of Geoscience*, 5: 1039-1046.
39. Mcclla, G.R., W.H. Blackburn & L.B. Merrill, 1984. Effects of livestock grazing on infiltration rates. Edwards plateau of Texas. *Journal of Range management*, 37(4): 265-269.
40. Mendez, V.R., E. Ventura-Ramos, K. Sandoval, L. Hernández-Sandoval, J.F. Parrot, & M.A. Nearing, 2010. Soil erosion & runoff in different vegetation patches from semi-arid central Mexico, *Catena*. 89: 162-169.
41. Mohammad, A.G. & M.A. Adam, 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses, *CATENA*, 81(2): 97-103.
42. Neris, J., C. Jimenez, J. Fuentes, G. Morillas & M. Tejedor, 2012. Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). *CATENA*, 98: 55-62.
43. Osuji, G., M. Okon, M. Chukwuma & I. Nwarie 2010. Infiltration characteristics of soils under se-lected land use practices in Owerri, Southeastern Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6: 322-326.
44. Patil, V.S., S.M. Chavan & D.P. Pawar 2018. Spatial distribution of soil under the influence of infiltration rate. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2): 2024-2029.
45. Philip, J.R., 1957. The theory of infiltration, Moisture profiles and relation to experiment. *Soil Science*, 84: 163-175.
46. Pietola, L., R. Horn & M. Ali-Halla, 2005. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil and tillage research*, 82: 99-108.
47. Pingping, H., Sh. Xue, L. Peng & L. Zhanbin, 2013. Effect of Vegetation Cover Types on Soil Infiltration under Simulating Rainfall. *Nature Environment and Pollution Technology*, 12(2): 193-198.
48. Sadeghi, H.R., 2010. Study and measurement of soil erosion, Tarbiat Modares University Publication. First Edition. 171pp. (In Persian)
49. Sadikhani, M.R., & A. Sohrabi, 2017. Effect of land use on the performance of selected soil water infiltration models. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(1): 127-138. (In Persian)
50. Safavi, H.R. 2007. *Engineering hydrology*, Isfahan Industrial University of Publications, 603 p. (In Persian)
51. Sepahvand, A., P. Sihag, B. Singh & M. Zand, 2018: Comparative Evaluation of Infiltration Models. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(10): 4173-4184.

52. Sepavand, A., M. Taei Semiromi, S.K. Mirnia & H.R. Moradi, 2011. Assessing the Sensitivity of Infiltration Models to Variability of Soil Moisture. *Journal of Water and Soil*, 25(2): 338-346. (In Persian)
53. Sihag, P., V.P. Singh, A. Angelaki, V. Kumar, A. Sepahvand & E. Golia, 2019: Modelling of infiltration using artificial intelligence techniques in semi-arid Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 64(13):1647-1658.
54. Soleimani, L., A. Haghizadeh & H. Zeinivand 2016. The Determination of the Best Models to Estimate the Infiltration in Various Land uses for Optimum Management of Watersheds. *Journal of Watershed Management Research*, 7(13): 33-41. (In Persian)
55. Tashayo, B., A. Honarbakhsh, M. Akbari & Y. Ostovari, 2020. Digital mapping of Philip model parameters for prediction of water infiltration at the watershed scale in a semi-arid region of Iran. *Geoderma Regional*, 22: e00301.
56. Taylor, M., M. Mulholland & D. Thornburrow, 2009. Infiltration Characteristics of Soils Under Forestry and Agriculture in the Upper Waikato Catchment. Report: TR/18: 28pp. [http:// www.waikatoregion.govt.nz/services/publications/tr200918/](http://www.waikatoregion.govt.nz/services/publications/tr200918/).
57. Thurow, T.L., W.H. Blackburn & C.A. Taylor, J. 1986. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by livestock grazing systems, Edwards Plateau, Texas. *Journal of Range Mangement*, 39: 505-509.
58. Turner, E.R. 2006. Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulation. MSc. thesis. University of Maryland. USA. 202 pp.
59. Vasquez-Mendez, R., E. Ventura-Ramos, K. Sandoval, L. Hernández-Sandoval, J.F. Parrot & M.A. Nearing, 2010. Soil erosion & runoff in different vegetation patches from semi-arid central Mexico. *Catena*. 89: 162-169.
60. Wang, Y., L. Wang & H.B. Shao, 2013. Ecological footprint analysis applied to a coal-consumption county in China. *Clean-Soil Air Water*, 41: 1-10
61. Ward, A.D. & S.W. Trimble, 2004. *Environmental Hydrology*. Second Edition, CRC Press LLC, Pp 475.
62. Ward, R.C. & M. Robinson, 1989. *Principles of Hydrology*. McGraw-Hill, London. 459pp.
63. Wei, X.R., M.B. Huang, M.A. Shao, L.H. Li, X.C. Zhang & R. Horton, 2013. Shrubs increase soil resources heterogeneity along semiarid grass slopes in the Loess Plateau. *Journal of Arid Environments*, 88: 175-183.
64. Ye, S., H.Y. Li, S. Li, L.R. Leung, Y. Demissie & Q. Ran, 2015. Vegetation regulation on streamflow intra-annual variability through adaption to climate variations. *Geophysical Research Letters*, 42(23): 10307-10315.
65. Yimer, F., I. Messing, S. Ledin & A. Abdelkadir, 2008. Effects of different land use types on infiltration capacity in a catchment in the highlands of Ethiopia. *Soil use and management*, 24: 344-349.
66. Zolfaghari, A.A., S. Mirzaee & M. Gorji, 2012. Comparison of different models for estimating cumulative infiltration. *International Journal of Soil Science*, 7(3): 108-115.