مقاله پژوهشی **شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8**

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

شکوفه حسنوند[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 *Annual Grass-Astragalus rhodoseminus*، *Astragalus ecbatanus-Euphorbia denticulata*، *Quercus brantii* 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، فیلیپ، 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-Euphorbia denticulata* 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 *Annual Grass-Astragalus rhodoseminus*، *Astragalus ecbatanus-Euphorbia denticulata*، *Quercus brantii* و *Annual Grass* به‌ترتیب با ضریب کارایی ۹۲/۷، ۹۴/۵، 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، هیماچال پرادش، هند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

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 (مثلا 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 تاثیرات فرسایش بارانی و افزایش نفوذپذیری کنترل می‌کند (۵ و ۱۵). تاثیر پوشش گیاهی بر آب خاک در نتیجه تاثیر 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 بی رویه 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 تاثیر 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 تاثیر پوشش گیاهی و برخی خصوصیات خاک بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز جفتی در همدان پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که بین تمامی پارامترهای

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

مورد بررسی در هر دو زیر حوضه اختلاف معنی‌دار بوده و در زیرحوزه نمونه، میزان و شدت نفوذپذیری بیشتر و در نتیجه تولید رواناب کمتر از زیرحوزه 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 گونه‌ای علفزار یا چمنزار در سایت تحقیقاتی جنا در آلمان، نقش مهمی در مقدار نفوذ آب به خاک داشت. آنها بیان کردند که غنای گونه‌ای به‌صورت معنی‌داری روی نفوذپذیری تاثیر داشت و تخلخل و ماده آلی را در این امر مهم دانستند در صورتی‌که بافت خاک رابطه معنی‌دار با نفوذپذیری نشان نداد. داون 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 موثر 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.

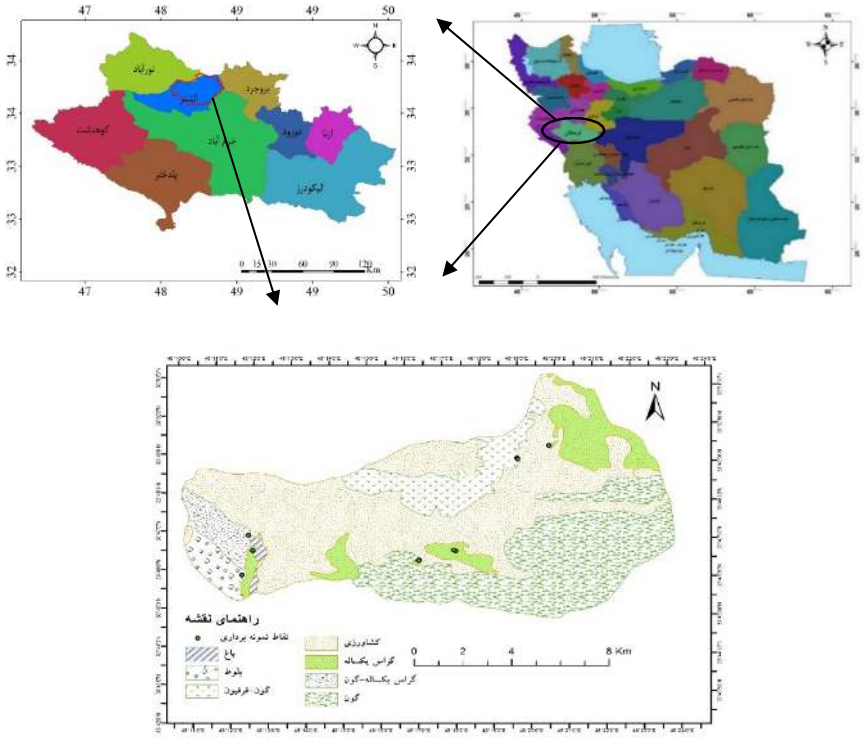
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژیکی در بخش مرکزی زاگرس در استان لرستان قرار دارد که خود بخشی از زیر حوزه کرخه می‌باشد. زیر حوزه 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 قرارگرفته 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*، *Hordeum*، *Taeniatherum* و *Heteranthelium* بودند. در تیپ گندمیان یکساله-گون، گونه‌های جنس جد گندم (*Aegilops*) غالب بودند و در تیپ گندمیان یکساله گونه‌های *Aegilops*، *Hordeum* 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، احتمالا 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).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]



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

جدول ۱: برخی از مشخصات رویشگاهی تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه

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

روش تحقیق

در این تحقیق از استوانه مضاعف برای تعیین میزان نفوذ آب و مدل‌سازی نفوذ در تیپ‌های گیاهی مختلف در مراتع شهرستان الشتر استفاده شد. نقاط نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری نفوذ در هر تیپ پوشش گیاهی به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. با توجه به اینکه ممکن بود نقاط انتخاب شده دارای شیب بوده که مناسب اندازه‌گیری نفوذ نباشند، لذا با پیمایش صحرایی و دید کارشناسی، نقطه یا نقاط مناسب برای اندازه‌گیری نفوذ انتخاب شدند. بعد از مشخص شدن محل‌های نمونه‌برداری، از استوانه‌های مضاعف به دلیل رایج بودن شیوه و همچنین ایجاد اطلاعات مفید در صورت کاربرد صحیح (۵۱ و ۶۱)، جهت اندازه‌گیری نفوذ استفاده شد. جهت نشان دادن تغییرات بهتر مقدار نفوذ در طول زمان، در زمان‌های ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه میزان نفوذ ثبت شد (۵۰، ۵۱ و ۵۲) و در هر یک از تیپ‌های 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 اندازه‌گیری شد (جدول ۳). نتایج حاصل از

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

اندازه‌گیری میزان نفوذ در هر تیپ گیاهی به‌صورت نمودار و مقایسه بین مقادیر واقعی و تخمین حاصل از مدل‌های مختلف نفوذ ارائه شده است. به‌منظور 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 به‌دست آمده پایه زمانی ۶۰ دقیقه با توجه به مدت زمان ثابت‌شدن 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-آمپت اصلاح شده، هورتون، SCS[1] و فیلیپ، ضرایب مربوط به نفوذ محاسبه شد. در نهایت مدلی که با توجه به معیارهای ارزیابی، بهترین جواب را ارائه داد به‌عنوان 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، به‌صورت رابطه دوم نمایش داده می‌شود که برای محاسبه نفوذ لحظه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳، ۵۰، ۵۱ و ۵۲).

$$i(t) = ct^{-a}$$ رابطه (۱)

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

در این رابطه c و a ضرایب مختلفی برای خاک‌های مختلف بوده و مقدار c و a به‌ترتیب 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-آمپت

گرین و آمپت 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.

$$I = K(H_0 + S_w + L)/L$$ رابطه (۳)

در این رابطه K ضریب هدایت هیدرولیکی خاک، ارتفاع آب انباشته شده در سطح خاک، پتانسیل آب خاک در جبهه رطوبتی، L فاصله سطح خاک تا جبهه رطوبتی و I شدت نفوذ می‌باشد (۱۶). به‌دلیل این که مدل گرین-آمپت قادر نبود طی آزمایش‌هایی پدیده نفوذ را به‌درستی در خاک‌های غیرهمگن شبیه‌سازی کند، و بالا بودن ریشه میانگین مربعات خطا، این مدل بعداً در سال ۱۹۸۰ توسط Hachum و Alfara به‌صورت رابطه زیر اصلاح شد و مدل اصلاح شده گرین-آمپت را برای تعیین نفوذ در خاک‌هایی با لایه‌بندی مختلف به کار بردند (۷ و۳۲).

$$I = \frac{A}{i} + B$$ 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-آمپت بسیار ساده است و پارامترهای آن را می‌توان به سادگی از روی خصوصیات فیزیکی خاک به دست آورد (۲۱). بنابراین مدل اصلاح شده گرین-آمپت به دلیل سادگی به وفور در تحقیقات هیدرولوژی هم چون مدل SWAT و مدل‌های فرسایش مثل WEEP (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، به‌طوری که در ابتدای بارندگی ظرفیت آن حداکثر و در نهایت به مقدار ثابت می‌رسد. معادله هورتون به‌صورت رابطه زیر بیان می‌گردد (۲۸، ۴۸ و ۵۰).

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

در رابطه فوق، نفوذ در زمان t از زمان شروع بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت، شدت نفوذ نهایی بر حسب میلی متر 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):

[1]- Soil Conservation Service

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

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

رابطه (۶) $$i(t) = at^b + c$$

در این رابطه، i مقدار نفوذ تجمعی از زمان شروع نفوذ (سانتی‌متر)، c عدد ثابت و برابر ۰/۶۹۸۵، t زمان از لحظه شروع نفوذ (دقیقه) و ضرایب a و b، تابعی از شماره منحنی نفوذ بوده که از جدول استاندارد SCS استخراج می‌گردد (۵۰).

مدل فیلیپ

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

رابطه (۷) $$I(t) = ST^{\frac{1}{2}} + (k_2 + k_0)t + k_3 t^{\frac{3}{2}} + k_4 t^2 + \cdots + + k_n t^{\frac{n}{2}}$$

در رابطه فوق ، n از صفر تا بی‌نهایت تغییر می‌کند. در عمل معادله ساده شده فیلیپ برای تعیین نفوذ تجمعی به‌صورت رابطه زیر به‌کار می‌رود:

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

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

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

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 داده‌های مشاهداتی به‌دست می‌آیند (۹ و ۱۳).

سپس برای ارزیابی دقت مدل‌های نفوذ از پارامترهای آماری ضریب همبستگی[1]، ضریب نش-سایتکلیف[2] (NS)، خطای نسبی (RE)، ضریب کارایی مدل (EF) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد (رابطه‌های ۱۰ تا ۱۴). مقدار ضریب ENS بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. مقدار بهینه این شاخص یک است. اگر میزان آن از ۰/۵ بیشتر باشد، مدل شبیه‌سازی خوبی داشته است و در صورت منفی شدن آن بهتر است که به نتایج مدل بسنده نشود و از متوسط مقادیر مشاهده‌ای استفاده شود. ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی مبّین اختلاف کلی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی می‌باشد. میانگین کامل انحراف و درصد خطای نسبی در حالت بهینه یا حالتی که مقادیر برآورده شده و اندازه‌گیری‌شده مساوی باشند، برابر با صفر و مقدار کارایی یا راندمان مدل در این حالت به یک نزدیک می‌شود. مقدار ضریب همبستگی و ضریب کارایی مدل نیز نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از منفی بی‌نهایت در بدترین حالت، تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها تغییر می‌کند. از بین مدل‌های 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 به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای تعیین ضرایب نفوذ در تیپ‌های مختلف گیاهی مرتعی مورد نظر انتخاب می‌شود.

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

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

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

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

رابطه (۱۴) $$EF = \left(\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2\right) / \sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2$$

[1]- Correlation Coefficient

[2]- Nash-Sutcliffe

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

در روابط فوق، P_i مقدار برآورد شده، O_i مقدار مشاهده شده، $\overline{O}$ 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 به‌ترتیب در تیپ‌های پوشش گیاهی فرفیون-گون و تیمار گندمیان-گون مشاهده گردید.

رابطه (۱۵)
$$\bar{I} = \frac{CF}{T}$$

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 ۱۱/۴سانتیمتر بر ساعت به‌ترتیب 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.

رابطه (۱۶)
$$I_r = \frac{I_{max} - I_{min}}{T}$$

در این رابطه I_r متوسط شیب کاهش نفوذ نسبت به زمان (سانتی‌متر بر مجذور ساعت)، I_{max} و I_{min} به‌ترتیب حداکثر و حداقل سرعت نفوذ (سانتی‌متر برساعت) و T کل مدت زمان اندازه‌گیری نفوذ بر حسب ساعت است. با توجه به این رابطه حداکثر و حداقل شیب کاهش نفوذ به‌ترتیب 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 حاکی از 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 ($p<۰/۰۱$). تفاوت معنی‌دار بین میزان رس، شن، تخلخل، وزن مخصوص و رطوبت در تیپ‌های پوشش گیاهی مورد مطالعه دیده نشد ($p>۰/۰۵$). 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).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

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} ۸/۵۵±۰/۰۰۱	۵۴/۳±۰/۰۰۱^{a}	۳۷/۱±/۰۰۱^{a}	۴۸±۰/۰۰۱^{a}	۳۱±۰/۰۰۱^{a}	۱/۸۷±۰/۰۰۱^{a}	۱/۸۶±۰/۰۴^{a}	۱/۴۷±۰/۰۰۱^{a}
Astragalus ecbatanus-Euphorbia denticulata	۱۷/۷±۲/۸۲ ^{a}	۵۰/۳±۱/۴۱^{ab}	۳۲±۴/۲۴^{a}	^{a} ۵۴±۰/۰۰۱	^{a} ۱۳/۱±۲/۶۵	۱/۵۰±۰/۲۵^{a}	۱/۴۲۵±۰/۱۳^{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	^{a} ۱۷/۷±۱۱/۳۴	۳۴/۹±۳/۳۵^{c}	۴۷/۴±۱۳/۲۹^{a}	۵۴±۴/۹۸ ^{a}	^{a} ۲۲/۶±۱۱/۷	۱/۴۶±۰/۲۰^{a}	۲/۰۳۱±۰/۷۳^{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.

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 ($p>۰/۰۵$). اگر چه از نظر آماری نفوذ متوسط در تیپ‌های مختلف معنی‌دار نبود، ولی بیشترین و کمترین مقدار آن به‌ترتیب متعلق به تیپ *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulata* و تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* با میزان ۱۴/۴ و ۶/۲۵ سانتی‌متر در ساعت می‌باشد که این تفاوت می‌تواند حجم وسیعی از آب را به داخل خاک نفوذ دهد یا 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.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

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	

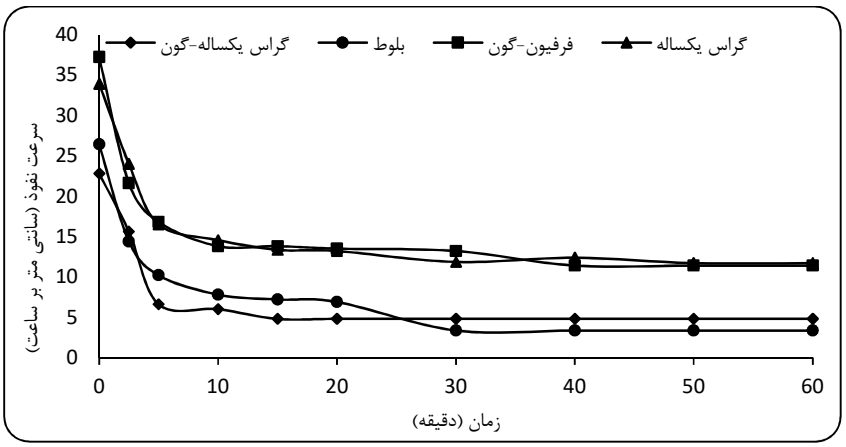
* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، و ns عدم اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهند.

جدول ۵: ویژگی‌های نفوذ اندازه‌گیری شده در تیپ‌های مختلف گیاهی

تیپ پوشش گیاهی	نفوذ تجمعی (Cm) تا زمان ۶۰دقیقه	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.

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



شکل ۲: روند تغییرات سرعت نفوذ در تیپ‌های مطالعه شده

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

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

داشت که در سطح ۵ درصد معنی‌دار و رابطه مثبت بود. یعنی با افزایش میزان تخلخل میزان نفوذ متوسط نیز افزایش پیدا می‌کند. سرعت نفوذ نهایی بیشترین رابطه همبستگی را با شن داشت که در سطح ۱ درصد معنی‌دار و رابطه مثبت بود و رابطه آن با سیلت در سطح ۵ درصد معنی‌دار و رابطه منفی بود. همچنین سرعت نفوذ نهایی با تخلخل رابطه مثبت داشت و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. حداکثر سرعت نفوذ با تخلخل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و رابطه مثبت داشتند. رابطه زمان تا لحظه تثبیت نفوذ با سیلت و شن در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد به‌نحوی‌که رابطه آن با سیلت منفی و با شن مثبت بود.

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	۰/۰۴	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	-۰/۰۰۹	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	۰/۰۰۳	۰/۱۴	-۰/۱۰	-۰/۰۶	-۰/۲۲	۰/۶۶**	۰/۱۰	۰/۱۴	-۰/۵۶*	۰/۲۴	-۰/۰۸	۱

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

نتایج مربوط به معیارهای سنجش خطا در رابطه با هر یک از مدل‌های نفوذپذیری در تیپ‌های گیاهی مختلف در جدول (۷) ارائه شده است. معیارهای سنجش خطا در تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* نشان می‌دهد که مدل گرین-آمپت اصلاح شده به‌ترتیب 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 به‌عنوان مناسب‌ترین تخمین‌گر 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 مدل‌ها دارای ضرایب کارایی و ناش پایین‌تری و همچنین خطای بیشتری بود که بر این اساس این مدل به‌عنوان نامناسب‌ترین تخمین‌گر در تیپ گیاهی *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* انتخاب شد. در تیپ *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulate* مدل گرین-آمپت اصلاح شده به‌ترتیب از ضرایب کارایی و ناش ۰/۹۴۵ و ۰/۹۴۶۰ بر خوردار بوده و همچنین دارای ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای نسبی به‌ترتیب ۱/۸۴۵ و ۰/۰۵۳ بود که کارایی بیشتر این مدل در مقایسه با دیگر مدل‌ها را نشان می‌دهد. در صورتی که مدل سازمان حفاظت خاک آمریکا از ضرایب کارایی و ناش پایین‌تر و خطای بیشتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار است که این نتایج کارایی پایین این مدل را در *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulate* نشان می‌دهد. معیارهای سنجش خطا در تیپ گیاهی *Quercus brantii* نشان می‌دهد که مدل گرین-آمپت اصلاح شده به‌ترتیب از ضرایب کارایی و ناش ۰/۹۷۶و ۰/۹۷۶۵ و همچنین از ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای نسبی به‌ترتیب ۱/۰۸۳ و ۲/۰۳۴- برخوردار بوده است و به‌عنوان مدل بهینه در این تیپ گیاهی انتخاب شده است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

در صورتی‌که 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 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 پایین-تری برخودار است.

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
	فیلیپ	۰/۸۱۹	۲/۶۸۲	۱/۹۴۶	۰/۹۷۲	۰/۸۱۹۵
Astragalus ecbatanus-Euphorbia denticulata	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
	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
Quercus brantii	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
	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
Annual Grass	کوستیاکوف	۰/۸۸۵	۲/۴۵۴	-۴۰/۴۶۹	۰/۹۶۶	۰/۸۸۵
	گرین-آمپت اصلاح شده	۰/۸۸۶۲	۲/۴۴۱	-۴۹/۸۳۴	۰/۷۰۹	۰/۹۷۸۴
	هورتون	۰/۶۷۹۳۷	۴/۰۹۸۴	۱۶/۷۵۳	۰/۲۵۵	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

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*، *Quercus brantii* و *Annual Grass* به‌ترتیب برابر با ۶/۲۵، ۱۴/۴، ۶/۶۳ و ۱۴/۳ 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 این‌که برعکس حجم وسیعی از آب را در سطح زمین جاری سازد. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۶) مقدار نفوذ 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

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

ساعت) 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 می باشد (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 درنتیجه 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 کلوئید 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.

مدل‌سازی 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 ۰/۹۴۶۰ و درصد خطای پایین به‌عنوان بهترین مدل شناخته شد که با نتایج ما و همکاران (۲۰۰۹) که بر روی مدل‌سازی 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

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

در کاربری مرتع معرفی کرده بودند مغایرت دارد. در تیپ *Quercus brantii*، مدل گرین-آمپت اصلاح شده با مقدار ناش ۰/۹۷۶۵ و مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۸۸ 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 به طور 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 به‌ترتیب ۰/۸۸۶۲ و ۰/۹۷۸۴ 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.

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 *cm/h* ۱۴/۴، بیشترین و در تیپ *Annual Grass- Astragalus rhodoseminus* برابر با cm/h ۶/۲۵، کمترین مقدار بود که تفاوت ۲/۳ برابری را نشان می‌دهد. این تفاوت ۲/۳ 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 rhodoseminus*، *Astragalus ecbatanus- Euphorbia denticulata*، *Quercus brantii* و *Annual Grass* به‌ترتیب با ضریب کارایی ۹۲/۷، ۹۴/۵، 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 اهمیت اکوسیستم‌های مرتعی در حفظ آب و همچنین تغییرپذیری نفوذ در تیپ‌های گیاهی مختلف می‌باشد که می‌بایست در مدیریت این عرصه‌ها مدنظر قرار گیرد.

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.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

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 Geoscieces 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 condation and infiltration into layered soils undfr 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. Vauclin, 2000. Overland flow and infiltration modeling for small plots during unsteady rainfall. Journal of Hydrology, 228: 265-282.
17. Fakher 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 (WEEP) modem. In: Harmon, R.S., Doe lll, W.W., (Eds), Land-scape Erosion and Evolution Modeling. Kluwer Acad. Publ., Norwell, MA: 145-199.
21. Garmei, 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, infltration 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 Reseach, 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.uppsatser.se/uppsats_7/7c6b162347.php).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

29. Lashani Zand, M., A. Sepavand & S.KH. Taei Smiromi, 2011. Camparison 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 infilteration. 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.l. 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.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]

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/.
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.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.3.9.8]