

Water Infiltration into Soil on Different Parts of a Slope during Different Seasons

Kamran Chapi^{*1}, Morad Hamidi², Ataollah Shirzadi³

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: k.chapi@uok.ac.ir
2. Environmental Expert, Environmental Protection Department of Kurdistan Province, Sanandaj, Iran. E-mail: hamidimorad@yahoo.com
3. Assistant Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: a.shirzadi@uok.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 02.24.2024
Revised: 07.21.2024
Accepted: 09.08.2024

Keywords:
Infiltration,
Slope,
Season,
Initial soil moisture,
Saturated soil moisture

ABSTRACT

Background and Objectives: Water infiltration into soil profile is one of the most important components of the water cycle, playing an essential role in determining the hydrological behavior of soil, the amount of runoff generation in a watershed, and the amount of soil moisture for the growth of vegetation and crops. Its variability is influenced by many factors such as precipitation characteristics, soil, vegetation type, land use, land slope and season of the year, which must be determined in each region because these characteristics are highly site-specific. Due to the lack of information on the variability of water infiltration into a soil on different parts of a slope, the aim of this research is to investigate the variability of infiltration in different parts of a slope in different seasons of the year.

Materials and Methods: In this research, a slope with a length of approximately 60 meters was selected inside the University of Kurdistan campus. Three points on this slope, including the upslope point with 0% slope, the middle slope point with 22% slope, and the downslope point with 28% slope, were considered for the establishment of double rings. The soil texture was clay and clay loam and the type of vegetation was sparse rangelands. Infiltration measurement at these three points was repeated three times in the three seasons of Fall, Winter and Spring with time intervals of one month. During the experiment, the initial soil moisture and the saturated moisture contents of the soil were measured by the gravimetric method. The collected data were analyzed in a randomized complete block design.

Results: The results showed that different slopes had no effect on the intensity of initial infiltration, the average intensity of infiltration and the intensity of final infiltration. The results also demonstrated that the initial infiltration rate and the average infiltration rate in Fall were significantly different from those of Winter and Spring, while the final infiltration rate was the same in all seasons and its value was not affected by seasonal changes. Further investigations indicated that there is no significant relationship between initial infiltration intensity, average infiltration intensity and final infiltration intensity at three points of the slope and in three seasons of the year with initial soil moisture and soil saturation, which implies that the difference of infiltration intensities in different seasons cannot be justified with changes in initial moisture and soil saturation.

Conclusion: It can be suggested that infiltration at any point is completely dependent on the characteristics of that point and it is not possible to generalize a specific behavior pattern of this component to other points. Therefore, it is necessary to measure the infiltration at each point and even during modeling, the natural characteristics of that point must be fully understood.

Cite this article: Chapi, Kamran, Hamidi, Morad, Shirzadi, Ataollah. 2024. Water Infiltration into Soil on Different Parts of a Slope during Different Seasons. *Journal of Water and Soil Conservation*, 31 (3), 31-58.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2024.22236.3716

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نفوذپذیری آب به داخل خاک در بخش‌های مختلف یک دامنه در فصول مختلف سال

کامران چپی^{۱*}، مراد حمیدی^۲، عطااله شیرزادی^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: k.chapi@uok.ac.ir

۲. کارشناس محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: hamidimorad@yahoo.com

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: a.shirzadi@uok.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: نفوذپذیری یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخه آب است که نقش زیادی در تعیین رفتار هیدرولوژیکی خاک، میزان تولید رواناب، میزان رطوبت خاک برای رشد گیاهان طبیعی و محصولات کشاورزی دارد. تغییرات این مؤلفه تحت تأثیر فاکتورهای زیادی مانند خصوصیات بارش، خاک، نوع پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب اراضی و فصل سال می‌باشد که لازم است در هر منطقه مشخص گردد. باتوجه به این‌که رفتار نقاط مختلف یک دامنه در مقابل نفوذ آب متفاوت است، هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات نفوذپذیری آب به داخل خاک در بخش‌های مختلف یک دامنه شیب‌دار در فصول مختلف سال است.
تاریخ دریافت: ۰۲/۱۲/۰۵ تاریخ ویرایش: ۰۳/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۰۳/۰۶/۱۸	مواد و روش‌ها: در این پژوهش، یک دامنه شیب‌دار به طول تقریبی ۶۰ متر در داخل محوطه دانشگاه کردستان انتخاب شد. سه نقطه از این دامنه شامل نقطه بالادست با شیب صفر درصد، نقطه میانی با شیب ۲۲ درصد و نقطه پایین‌دست با شیب ۲۸ درصد برای استقرار استوانه‌های مضاعف در نظر گرفته شد. نوع بافت خاک دامنه رسی و رسی لومی و نوع پوشش گیاهی آن مراتع تنک بود. اندازه‌گیری نفوذپذیری در این سه نقطه در سه فصل پاییز، زمستان و بهار با فواصل زمانی یک‌ماهه با استوانه مضاعف، سه بار تکرار گردید. در حین آزمایش نفوذپذیری، رطوبت اولیه خاک و رطوبت اشباع خاک با روش گراویمتریک تعیین گردید. داده‌های جمع‌آوری شده در قالب یک طرح بلوک کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شدند.
واژه‌های کلیدی: نفوذپذیری، دامنه شیب‌دار، فصل سال، رطوبت اولیه خاک، رطوبت اشباع خاک	یافته‌ها: نتایج نشان داد که شیب‌های مختلف تأثیری بر شدت نفوذپذیری اولیه، شدت نفوذپذیری متوسط و شدت نفوذپذیری نهایی نداشته است بدین معنی که ورود آب به داخل خاک در تمامی نقاط دامنه به صورت یکسان اتفاق می‌افتد. نتایج هم‌چنین نشان داد که شدت نفوذپذیری اولیه و شدت نفوذپذیری متوسط در فصل پاییز به صورت معنی‌داری بیش‌تر از فصول زمستان و

بهار است درحالی که شدت نفوذپذیری نهایی در تمام فصول یکسان هست. بررسی‌های بیش‌تر نشان داد که هیچ‌گونه الگوی رفتاری خاصی از وابستگی شدت نفوذپذیری اولیه، شدت نفوذپذیری متوسط و شدت نفوذپذیری نهایی در سه‌نقطه دامنه و در سه فصل سال به رطوبت اولیه و اشباع خاک وجود ندارد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش می‌تواند این موضوع را القا نماید که نفوذپذیری در هر نقطه کاملاً وابسته به خصوصیات آن نقطه است و نمی‌توان مدل رفتاری خاصی از این مؤلفه را به سایر نقاط تعمیم داد؛ بنابراین لازم است که نفوذپذیری در هر نقطه اندازه‌گیری شود و حتی در هنگام مدل‌سازی باید کاملاً متوجه ویژگی‌های طبیعی آن نقطه بود.

استناد: چپی، کامران، حمیدی، مراد، شیرزادی، عطاله (۱۴۰۳). نفوذپذیری آب به داخل خاک در بخش‌های مختلف یک دامنه در فصول مختلف سال. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۱ (۳)، ۵۸-۳۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2024.22236.3716



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

نفوذ آب به داخل خاک یکی از مؤلفه‌های بسیار مهم در چرخه آب و تولید رواناب است (۱). این مؤلفه نقش مهمی در تعیین رفتار خاک و تأمین رطوبت در منطقه غیراشباع خاک را بر عهده داشته (۲) و از عوامل اصلی در برنامه‌ریزی آبیاری در مزارع کشاورزی است (۳). نفوذپذیری مقدار تولید رواناب در سطح یک حوزه آبخیز را کنترل می‌نماید (۴).

نفوذپذیری متغیر بسیار پیچیده‌ای در چرخه آب است و فاکتورهای بسیار زیادی بر روی آن تأثیر می‌گذارند. هورتون (۱۹۳۳) جزو اولین افرادی بود که به نقش نفوذپذیری در چرخه آب و تولید رواناب از طریق معرفی مکانیسم هورتونی پرداخت و اشاره کرد که این فاکتور ارتباط بسیار نزدیکی با پوشش گیاهی، رطوبت خاک و سطح آب‌های زیرزمینی دارد (۱).

پوشش گیاهی و رطوبت اولیه خاک (۵)، عوامل مربوط به خاک و مدیریت (۶)، نوع عملیات زراعی و رطوبت خاک (۷) و رطوبت اولیه خاک در ارتباط با فصل سال و نوع خاک (۸) توسط بعضی متخصصین به‌عنوان اثرگذارترین فاکتورها بر روی نفوذپذیری معرفی شده‌اند. پواسون (۱۹۸۴) مقدار نفوذ آب به داخل خاک را تحت تأثیر دو دسته فاکتور خصوصیات بارش و ویژگی‌های مرتبط با منطقه که بر روی میزان رطوبت و پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارند، دانسته است (۹). این موضوع به‌وسیله متخصصین زیادی از جمله

اسمیت و همکاران (۱۹۹۳)، تامپسون و همکاران (۲۰۱۰)، لای و همکاران (۲۰۱۵)، وو و همکاران (۲۰۲۱)، وریکن و همکاران (۲۰۲۲)، وو و همکاران (۲۰۲۲) و وو و همکاران (۲۰۲۳) مجدداً مورد تأکید قرار گرفته است (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶). ویلکاکس و همکاران (۱۹۸۸) بیان کرده‌اند که پوشش گیاهی، نوع خاک و سنگ، و شیب اثرات زیادی بر روی نفوذپذیری دارند (۱۷). مونتوهار و لیائو (۲۰۱۹)

ابراز کرده‌اند که نوع خاک، رطوبت خاک و شیب زمین تأثیر بسیار زیادی بر مقدار نفوذپذیری دارند (۱۸). متخصصین زیاد دیگری فاکتورهای متعدد دیگری را هم از جمله دمای آب و خاک، کیفیت آب و کاربری اراضی را در مقدار نفوذ آب به داخل پروفیل خاک مهم دانسته‌اند (۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵).

باتوجه به این‌که عوامل مؤثر بر نفوذپذیری بسیار متعدد هستند و بررسی تمامی آن‌ها در یک مطالعه امکان‌پذیر نیست، مطالعه حاضر تلاش دارد تا از بین فاکتورهای مؤثر بر نفوذپذیری، اثر شیب دامنه و فصل سال (رطوبت اولیه خاک) را که پژوهش‌گران معتقدند تأثیر بیشتری بر نفوذپذیری دارد، بررسی کند. نفوذپذیری آب بر روی سطوح شیب‌دار یک پدیده پیچیده و غیرقابل حل است؛ چون به شدت وابسته به خصوصیات هیدرولیکی خاک، شرایط پوشش گیاهی و فصل سال می‌باشد (۲۶). اکثر مدل‌های موجود نفوذپذیری با پیش‌فرض ورود آب به داخل اراضی مسطح طراحی شده‌اند درحالی‌که در جهان واقعی، بارش باران و برف بر روی سطوح شیب‌دار، پدیده‌ای کاملاً طبیعی بوده و به‌وفور اتفاق می‌افتد (۲۷). حتی مدل‌های نفوذپذیری موجود علاوه بر پیش‌فرض اراضی مسطح، پیش‌فرض‌های خاک همگن و میزان رطوبت اولیه ثابت را هم در طراحی لحاظ نموده‌اند که بعضی مواقع دور از شرایط جهان واقعی است (۲۸).

ناسیف و ویلسون (۱۹۷۵) بیان کرده‌اند که میزان نفوذپذیری آب به داخل خاک با افزایش شیب دامنه کاهش می‌یابد؛ اما از شیب بحرانی ۳۲ درصد به بعد، مقدار نفوذ ثابت باقی می‌ماند (۲۹). شارما و همکاران (۱۹۸۳) در آزمایشی بر روی شیب‌های ۰/۵ تا ۱۰ درصد، نتیجه گرفتند که با افزایش شیب، مقدار نفوذپذیری به دلیل فرصت کم‌تر برای بارش برای

بیش‌تر از ۵۰ درصد، با افزایش شیب، مقدار نفوذ کاهش می‌یابد (۴۰). لو و همکاران (۲۰۱۳) اثر شیب‌های ۰ تا ۳۰ درجه را بر روی میزان نفوذپذیری آزمایش کردند و دریافتند که مؤلفه موازی جریان با شیب سطح زمین، با افزایش شیب، افزایش پیدا می‌کند (۴۱). موربیدلی و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر شیب‌های ۱ تا ۱۰ درجه را بر روی میزان نفوذ آب به داخل خاک اندازه‌گیری نمودند و بیان نمودند که با افزایش شیب، مقدار نفوذ افزایش پیدا می‌کند (۴۲). مو و همکاران (۲۰۱۵) مقدار نفوذ آب را بر روی شیب‌های ۰ تا ۳۰ درجه اندازه‌گیری کردند و بیان نمودند که با افزایش شیب، مقدار کاهش پیدا می‌کند (۴۳). خان و همکاران (۲۰۱۶) بر روی شیب‌های ۵ تا ۲۵ درجه نتیجه‌ای کاملاً برعکس با آنچه که آسولاین و بن هور در سال ۲۰۰۶ گرفته بودند، به دست آوردند (۴۴). موربیدلی و همکاران (۲۰۱۶) حتی با افزایش شیب‌های مورد مطالعه نسبت به مطالعه قبلی در سال ۲۰۱۵ از ۱ تا ۱۰ درجه به ۱ تا ۱۵ درجه هم نتایج جدید و متفاوتی به دست نیاوردند (۴۵). وانگ و همکاران (۲۰۱۸) بیان نموده‌اند که با افزایش شیب اراضی، مقدار نفوذ آب به داخل پروفیل خاک کاهش پیدا می‌کند (۴۶). دوهیتا و همکاران (۲۰۲۱) رابطه بین نفوذپذیری و شیب‌های ۳۶ تا ۴۷ درصد را معکوس دانسته و با افزایش شیب بین ۴۷ تا ۵۸ درصد، نفوذ افزایش یافته است که دلیل این رفتار متفاوت را غیریکنواختی و ناهمگنی مواد سطحی خاک در شیب‌های بیش‌تر از ۴۷ درصد اعلام کرده‌اند (۴۷). جین و چاکما (۲۰۲۳) مشاهده کرده‌اند که میزان نفوذپذیری با افزایش شیب دامنه، افزایش پیدا می‌کند (۴۸). جیا و همکاران (۲۰۲۴) نشان داده‌اند که با افزایش شیب یک دامنه، مقدار شدت نفوذپذیری اولیه، میانگین شدت نفوذپذیری و شدت نفوذپذیری نهایی به ترتیب ۴۸، ۵۲ و ۳۷ درصد کاهش پیدا کرده

نفوذ به داخل خاک، کم می‌شود (۳۰). پواسون (۱۹۸۴) یک رابطه معکوس را بین نفوذ آب به داخل خاک بر روی شیب‌های ۲ تا ۲۰ درصد پیدا کرد (۹). فیلیپ (۱۹۹۱) بیان نمود که نفوذپذیری با افزایش شیب، کاهش می‌یابد (۳۱). سردا و گارسیا فایوس (۱۹۹۷) اعلام کرده‌اند که نفوذ آب به داخل خاک مستقل از شیب زمین در اراضی با شیب بین ۲ تا ۵۵ درجه است (۳۲). فاکس و همکاران (۱۹۹۷) یک رابطه معکوس بین نفوذ آب و شیب زمین در شیب‌های بین ۱/۵ تا ۲۱/۵ درجه به دست آوردند که البته این رابطه فقط تا شیب ۱۱ درجه وجود داشت (۳۳). شاپلو و لوبیسونا (۲۰۰۰) ادعا کرده‌اند که با افزایش شیب زمین، مقدار نفوذ کاهش پیدا می‌کند که دلیل آن افزایش سرعت جریان بر روی اراضی پر شیب است (۳۴). ژانو و همکاران (۲۰۰۳) در آزمایشی بر روی شیب‌های ۱۶ تا ۶۳ درصد به این نتیجه رسیدند که با افزایش شیب، مقدار نفوذ آب به داخل خاک افزایش می‌یابد که علت آن نقش مهم مؤلفه عمودی انرژی جنبشی است (۳۵). آسولاین و بن هور (۲۰۰۶) دریافتند که با افزایش شیب بر روی اراضی شیب‌دار بین ۵ تا ۲۵ درجه، مقدار نفوذپذیری افزایش می‌یابد (۳۶). چن و یانگ (۲۰۰۶) نشان دادند که با افزایش زاویه شیب، مقدار نفوذپذیری بر روی دامنه بیش‌تر می‌شود و اثر شیب بر روی نفوذپذیری در بارش‌های کم با دوره زمانی کوتاه‌مدت بسیار مهم است (۳۷). اسینگ و همکاران (۲۰۰۹) یک رابطه مستقیم بین نفوذ آب به داخل خاک و شیب اراضی بین ۱ تا ۱۵ درجه پیدا کردند (۳۸) که ریبولزی و همکاران (۲۰۱۱) هم این نتیجه را بر روی شیب‌های ۳۰ تا ۷۰ درصد تأیید نمودند (۳۹). در آزمایشی بر روی شیب‌های ۱۰ تا ۱۱۰ درصد، پاتین و همکاران (۲۰۱۲) نتیجه گرفتند که با افزایش شیب تا ۵۰ درصد، مقدار نفوذ آب کم می‌شود؛ ولی در شیب‌های

را در تابستان بیش‌تر از زمستان اندازه‌گیری کرده است و دلیل این تفاوت را به میزان رطوبت اولیه خاک بیش‌تر در فصل زمستان ربط داده است (۵۷). اوکاتا و همکاران (۲۰۱۴) شدت نفوذپذیری در نیجریه را در فصل مرطوب سال بیش‌تر از فصل خشک سال به دست آورده‌اند که برعکس تصور عمومی هیدرولوژیست‌ها است؛ ولی آن‌ها این مسأله را به فشردگی کم‌تر خاک و فعالیت بیولوژیکی بیش‌تر در فصل مرطوب نسبت داده‌اند (۵۸). دل تورو گوئرو و همکاران (۲۰۱۸) ثابت کردند که میزان نفوذ آب به داخل خاک در فصل تر سال مانند زمستان و پاییز به دلیل رطوبت اولیه خاک بیش‌تر، بسیار کم‌تر از سایر فصول سال است (۵۹). مزارعی و همکاران (۲۰۲۱) میزان نفوذ آب به داخل خاک را در اراضی کشاورزی در فصل رشد گیاهی بررسی کردند و متوجه شدند که این میزان در زمان‌های مختلف سال متفاوت است (۶۰).

تولید اطلاعات در مورد میزان شدت نفوذپذیری در روی شیب‌های مختلف تحت شرایط واقعی مزرعه و همچنین طراحی مدل‌های برآورد میزان نفوذ آب به داخل خاک در مناطق شیب‌دار از ضروریات پژوهش در حوزه هیدرولوژی است (۲۸). مطالعات گذشته بر روی نفوذ آب به داخل پروفیل خاک در اراضی شیب‌دار و در فصول مختلف سال منجر به نتایج بسیار متفاوتی شده است (۲۶). بنابراین انجام این مطالعه از چند لحاظ مهم و ضروری است. اول، نفوذپذیری دارای ویژگی مرتبط با منطقه^۱ مورد مطالعه است بدین معنی که در هر منطقه تحت‌تأثیر عوامل خاصی است که ممکن است در منطقه‌ای دیگر، نفوذپذیری را تحت‌تأثیر قرار ندهند. دوم، نفوذپذیری فرآیندی پیچیده است و عوامل متعددی بر روی آن تأثیر می‌گذارند و لازم است مشخص شود که در هر منطقه بیش‌تر به‌وسیله چه عواملی کنترل می‌شود. سوم،

است (۴۹). پواسون (۱۹۸۳) اشاره کرده است که رابطه بین نفوذپذیری و شیب دامنه یک رابطه عمومی و قطعی نیست؛ چون بعضی وقت‌ها این رابطه مستقیم، بعضی وقت‌ها معکوس و در بعضی مواقع هیچ‌گونه رابطه‌ای وجود ندارد (۵۰) هرچند نتیجه پژوهش‌های ایشان در سال ۱۹۸۴ رابطه مستقیمی را بین شدت نفوذپذیری و شیب دامنه نشان داده است (۹). عدم وجود یک رابطه کلی و قطعی بین میزان نفوذ آب به داخل پروفیل خاک و شیب دامنه به‌وسیله موربیدلی و همکاران (۲۰۱۸) هم مورد تأکید قرار گرفته است (۲۸).

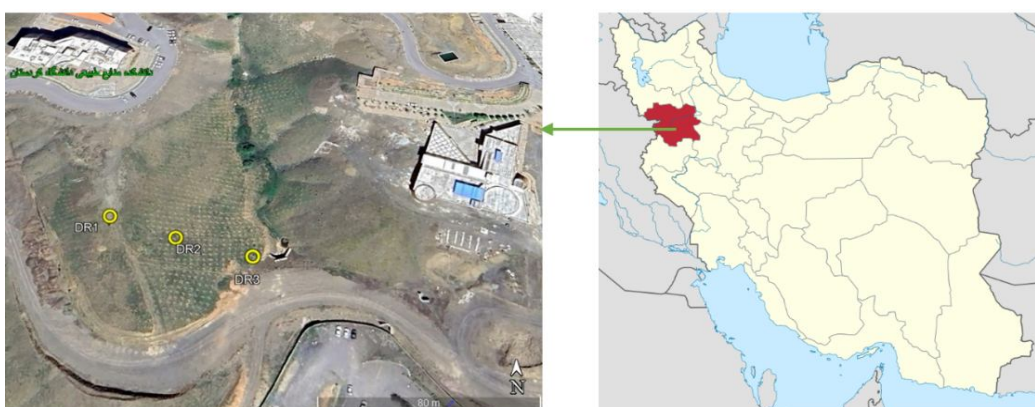
در اقالیم با فصول مشخص مانند اقلیم مدیترانه‌ای، رفتار نفوذ آب به داخل خاک در فصول مختلف سال تحت‌تأثیر رطوبت اولیه خاک بسیار متفاوت است (۵۱). گرین (۱۹۶۲) رطوبت اولیه خاک را یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر نفوذ آب به داخل خاک در ایام مختلف سال می‌داند (۵۲). شیوم و لازبای (۱۹۶۳) تغییرات ویژگی‌های خاک را در فصول مختلف به‌خصوص رطوبت اولیه خاک، مهم‌ترین عامل تغییر میزان نفوذپذیری در فصول سال عنوان کرده‌اند (۵۳). واعظی و بهتری (۲۰۱۸) رطوبت اولیه خاک را فاکتور مهمی در مطالعات نفوذپذیری، رواناب و فرسایش خاک دانسته‌اند (۵۴). سردا (۱۹۹۶) میزان نفوذپذیری را در فصل پاییز به دلیل رطوبت بالای خاک کم‌ترین و در فصل تابستان به خاطر رطوبت کم خاک بیش‌ترین مقدار اعلام کرده است (۵۵). سردا (۱۹۹۹) میزان نفوذپذیری را بر روی دامنه شیب‌دار و دشت‌سر در چهار فصل مختلف سال اندازه‌گیری کرد و نتیجه گرفت که مقدار نفوذپذیری هم بر روی دامنه شیب‌دار و هم بر روی دشت‌سر در فصول مختلف سال مشابه با هم تغییر می‌کند به طوری که مقدار آن در فصل تابستان به دلیل پایین بودن میزان رطوبت اولیه خاک بیش‌تر و در فصل پاییز کم‌تر است (۵۶). دایموند (۲۰۰۴) در ایرلند میانگین شدت نفوذپذیری

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه دامنه‌ای شیب‌دار در محوطه دانشگاه کردستان در شهر سنندج مرکز استان کردستان است. اقلیم شهر سنندج طبق اقلیم‌نمای آمبرژه (۶۸)، نیمه‌خشک و سرد و بعضی دوره‌های زمانی، مدیترانه‌ای و در اقلیم‌نمای دومارتن (۶۹)، نیمه‌خشک طبقه‌بندی شده است (۷۰). میانگین درازمدت بارش سالانه سنندج ۴۹۲ میلی‌متر بوده که در فصل بهار ۱۴۲، در فصل تابستان، ۲، در فصل پاییز، ۱۲۸ و در فصل زمستان، ۲۲۰ میلی‌متر است. میانگین درازمدت دمای سالانه ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد است که در فصل بهار، ۱۶/۱، در فصل تابستان، ۲۴/۱، در فصل پاییز، ۸/۴ و در فصل زمستان، ۲/۶ درجه سانتی‌گراد است (۷۱).

در این پژوهش، یک دامنه دست‌نخورده و بکر از دامنه‌های داخل محوطه دانشگاه کردستان انتخاب گردید. بر روی این دامنه، یک نقطه در بالادست، یک نقطه در وسط و یک نقطه در پایین دست دامنه به‌عنوان محل اندازه‌گیری نفوذپذیری در نظر گرفته شد که در شکل ۱ نشان داده شده است. ویژگی‌های این سه نقطه در جدول ۱ آمده است.

اطلاعات نفوذپذیری بر روی سطوح شیب‌دار بسیار کم و نتایج بسیار متفاوت است. چهارم، نفوذپذیری هیچ‌گونه ایستگاه پایش بر روی سطح زمین ندارد تا داده‌های زمانی از آن در دسترس باشد، و پنجم، تعیین میزان نفوذپذیری در مناطق مختلف یک حوزه آبخیز و یک دامنه می‌تواند در تعیین مکانیسم تولید رواناب در آن حوضه نقش مهمی داشته باشد (۶۱) چون اگر رواناب بر اثر اختلاف شدت بارش و شدت نفوذپذیری تولید شود مکانیسم آن هورتونی^۱ و اگر در اثر ایجاد یک لایه اشباع در سطح خاک تولید گردد، مکانیسم آن دوونی^۲ خواهد بود و تئوری منشأ متغیر^۳ بر تولید رواناب حاکم خواهد بود (۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۵، ۶۶ و ۶۷). هدف از این مطالعه بررسی میزان نفوذ آب به داخل خاک در قسمت‌های مختلف یک دامنه شیب‌دار است که در کشور ایران کم‌تر مطالعه شده است تا بتوان به کمک نتایج آن، موارد اول تا پنجم را به‌صورت علمی توضیح داد. این پژوهش رابطه شدت نفوذپذیری اولیه، شدت نفوذپذیری متوسط و شدت نفوذپذیری نهایی را با رطوبت اولیه و رطوبت اشباع خاک در قسمت‌های مختلف یک دامنه شیب‌دار بررسی کرده است که در مطالعات قبلی کم‌تر به آن‌ها توجه شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی سه استوانه مضاعف بر روی دامنه مورد مطالعه در محوطه دانشگاه کردستان (DR1، DR2 و DR3).
Figure 1. Position of three double rings on the study slope on University of Kurdistan campus (DR1, DR2, and DR3).

- 1- Hortonian mechanism
- 2- Dunnian mechanism
- 3- Variable Source Area (VSA)

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی سه نقطه از دامنه مورد مطالعه.

Table 1. Geographical characteristics of three points on the study slope.

کاربری اراضی Land Use	فاصله از نقطه بالادست دامنه (متر) Land Surface Distance (m)	شیب سطح زمین (درصد) Land Surface Slope (%)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation above Sea Level (m)	عرض شمالی Latitude N	طول شرقی Longitude E	دامنه مورد مطالعه Study Slope
	0	0	1529	35° 16' 34.62"	46° 59' 36.62"	بالادست دامنه Upslope
مراتع تنک Sparse Rangeland	26	22	1516	35° 16' 34.27"	46° 59' 37.78"	میان دامنه Middle slope
	57	28	1505	35° 16' 33.94"	46° 59' 39.09"	پایین دست دامنه Downslope

نفوذ آب به داخل خاک تا حدود زیادی خشتی گردید. داده‌های قرائت شده با معادله زیر تبدیل به شدت نفوذپذیری گردیدند:

$$f = \frac{\Delta h}{t} \quad (1)$$

که در آن، f شدت نفوذپذیری (میلی متر بر دقیقه)، Δh اختلاف دو قرائت متوالی ارتفاع ورود آب به داخل خاک (میلی متر) و t زمان (دقیقه) می‌باشد.

اندازه‌گیری نفوذپذیری با سه تکرار در هر فصل سال و در هر سه نقطه بالادست، میانی و پایین دست دامنه به صورت هم‌زمان اجرا شد به طوری که در فصل پاییز ۱۳۹۰، در روزهای ۱۵ مهر، ۱۵ آبان و ۱۵ آذر؛ در فصل زمستان ۱۳۹۰، در روزهای ۱۵ دی، ۱۵ بهمن و ۱۵ اسفند و در فصل بهار ۱۳۹۱، در روزهای ۱۶ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۱۴ خرداد انجام گردید. شدت نفوذپذیری اولیه، شدت نفوذپذیری متوسط و شدت نفوذپذیری نهایی به‌عنوان سه مؤلفه از نفوذ آب به داخل خاک محاسبه گردیدند.

اندازه‌گیری نفوذپذیری بر اساس استاندارد انجمن آزمایش و مواد آمریکا^۱ (۷۲) و با استفاده از نفوذسنج استوانه مضاعف^۲ انجام شد. سه استوانه مضاعف برای بررسی تغییرات مکانی در سه قسمت بالادست، میانی و پایین دست دامنه مستقر گردیدند (شکل ۱، دایره‌های زردرنگ). قطر استوانه خارجی ۶۰ سانتی متر، استوانه داخلی ۳۰ سانتی متر و ارتفاع استوانه‌های داخلی و خارجی ۵۰ سانتی متر بود. هر سه استوانه مضاعف با ضربات آرام چکش حدود ۲۵ سانتی متر (۵۰٪ ارتفاع استوانه مضاعف) در داخل زمین قرار داده شدند.

به‌منظور اندازه‌گیری نفوذپذیری، ابتدا فاصله بین دو استوانه پر از آب گردید تا خاک بین دو استوانه اشباع شود و پتانسیل ماتریک خاک اطراف استوانه مرکزی تأثیری بر مقدار نفوذپذیری نداشته باشد. بعد از اطمینان از اشباع خاک بین دو استوانه، استوانه مرکزی برای اندازه‌گیری مقدار نفوذ آب به داخل خاک آماده گردید (شکل ۲). ارتفاع ورود آب به داخل خاک در استوانه مرکزی در زمان‌های مختلف ثبت گردید. در طول آزمایش، با پر کردن مداوم استوانه مرکزی، تأثیر وزن آب داخل استوانه بر میزان

1- American Society for Testing and Materials (ASTM)

2- Double Rings



شکل ۲- اندازه‌گیری نفوذپذیری با استفاده از استوانه مضاعف و نمونه‌برداری خاک برای اندازه‌گیری رطوبت خاک.

Figure 2. Measurement of infiltration using double rings and soil sampling for soil moisture measurement.

اطمینان از اشباع خاک این منطقه که معمولاً بعد از ۳ تا ۴ ساعت اتفاق می‌افتاد، گودالی در داخل پلات حفر می‌شد و از اعماق مشابه با نمونه‌های رطوبت اولیه خاک، نمونه‌برداری رطوبت خاک در حالت اشباع انجام می‌شد (شکل ۲). نمونه‌های رطوبت خاک بلافاصله در آزمایشگاه وزن شده و به داخل آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. هر دو سری نمونه رطوبت خاک بعد از ۲۴ ساعت قرارگیری در آون، دوباره وزن شدند و با استفاده از روش گراویمتری، طبق رابطه زیر، درصد رطوبت اولیه و درصد رطوبت اشباع خاک محاسبه گردید:

$$\theta\% = \frac{m_m - m_d}{m_d} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، θ درصد رطوبت خاک، m_m جرم خاک مرطوب (گرم) و m_d جرم خاک خشک (گرم) بعد از ۲۴ ساعت قرارگیری در داخل آون است.

در این پژوهش، در روز ۱۵ مهرماه ۱۳۹۰ (روز شروع اولین آزمایش)، از هر سه نقطه دامنه، نمونه خاک تهیه گردید و بعد از انتقال به آزمایشگاه و دانه‌بندی بوسیله الک استاندارد، از روش هیدرومتر^۲

به منظور اندازه‌گیری رطوبت اولیه خاک در عمق‌های ۰، ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متری، از روش گراویمتری^۱ (۷۳ و ۷۴) استفاده شد. نمونه‌های خاک برای تعیین رطوبت اولیه در محلی نزدیک به استوانه‌های مضاعف برداشت شدند. ابتدا گودالی به عمق ۴۰ سانتی‌متر حفر گردید و از دیواره‌های این گودال و از اعماق موردنظر، نمونه‌های خاک با یک بیلچه برداشت و در ظروف فلزی قرار گرفته و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند (شکل ۲). با استفاده از یک ترازوی دیجیتال وزن دقیق نمونه‌های مرطوب خاک اندازه‌گیری شده و سپس در داخل آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. تمامی نمونه‌های خاک در روزهای اندازه‌گیری نفوذپذیری و در حین انجام آزمایش نفوذ برداشت گردیدند.

به منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک در حالت اشباع در اعماق موردنظر، ابتدا پیرامون استوانه‌های مضاعف به وسیله یک پلات فلزی به ابعاد ۱×۱ متر محصور گردید که در شکل ۲ نشان داده شده است. فاصله بین پلات مذکور و استوانه مضاعف هم‌زمان با آزمایش نفوذپذیری و به همان میزانی که در داخل استوانه مرکزی آب ریخته می‌شد، آبدهی گردید. بعد از

2- Hydrometer method

1- Gravimetric method

برای تعیین بافت خاک (۷۵) استفاده شد. در همین روز، با استفاده از استوانه نمونه‌برداری خاک، نمونه‌هایی از خاک دست‌نخورده هر سه نقطه دامنه با جرم و حجم مشخص تهیه گردید که از آن‌ها در اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری خاک استفاده شد. این مشخصات در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های خاک در سه نقطه از دامنه مورد مطالعه.

Table 2. Soil characteristics of three points on the study slope.

بافت خاک Soil Texture	درصد ماسه Sand (%)	درصد سیلت Silt (%)	درصد رس Clay (%)	جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب) Soil Bulk Density (g/cm ³)	دامنه مورد مطالعه Study Slope
رسی لومی Clay loam	34	28	38	1.61	بالادست دامنه Upslope
رسی Clay	33	27	40	1.54	میان دامنه Middle slope
رسی Clay	31	25	44	1.55	پایین دست دامنه Downslope

آزمایش‌های نفوذپذیری در قالب یک طرح بلوک کامل تصادفی انجام گردید تا با روش‌های آماری مناسب بتوان اثر بخش‌های مختلف دامنه (سه تیمار) و فصل سال (سه بلوک) را بر روی سه متغیر شدت نفوذپذیری اولیه، میانگین شدت نفوذپذیری و شدت نفوذپذیری نهایی مطالعه نمود. به منظور مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی در صورتی که اثر تیمار و یا بلوک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شود، از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)^۲ فیشر (P≤۰/۰۵) (۸۳) استفاده شد.

برای ارزیابی میزان دقت تجزیه واریانس‌های انجام شده در این پژوهش، شاخص‌های ارزیابی ضریب تبیین (R²)^۳، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۴ و ضریب تغییرات (CV)^۵ محاسبه شدند. اگر ضریب تبیین کمتر از ۰/۲ باشد، همبستگی (دقت) ضعیف؛ اگر بین ۰/۲ و ۰/۵ باشد، همبستگی متوسط؛

در این پژوهش از نرم‌افزار آماری SAS^۱ برای تجزیه واریانس داده‌ها و از نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده گردید. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شدند. قبل از تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و انتخاب آزمون‌های مناسب، لازم است که ابتدا از نرمال بودن آن‌ها اطلاع حاصل نمود. بدین منظور، وضعیت نرمال بودن داده‌های نفوذپذیری در این مطالعه با چهار آزمون شاپیرو-ویلک (۷۶)، کولموگروف-اسمیرنوف (۷۷ و ۷۸)، کرامر-فان میزس (۷۹، ۸۰ و ۸۱) و آندرسون-دارلینگ (۸۲) بررسی شد. آماره P در این آزمون‌ها به ترتیب ۰/۸۶۳۴، ۰/۱۵۰۰، ۰/۲۵۰۰ و ۰/۲۵۰۰ بود و چون تمامی این مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۰۵ هستند، می‌توان نتیجه گرفت که هر چهار آزمون، نرمال بودن داده‌ها را نشان دادند.

باتوجه به این‌که هدف اصلی این پژوهش بررسی میزان نفوذپذیری آب به داخل خاک در بخش‌های مختلف دامنه در فصول مختلف سال است،

2- Least Significant Difference (LSD)

3- Coefficient of Determination

4- Root Mean Squared Error (RMSE)

5- Coefficient of Variation (CV)

1- Statistical Analysis Software

اگر بین ۰/۵ و ۰/۸ باشد، همبستگی نسبتاً قوی و اگر از ۰/۸ بیش‌تر باشد، همبستگی قوی خواهد بود (۸۴). هرچه ریشه میانگین مربعات خطا کم‌تر باشد، به همان میزان دقت آزمایش بالاتر خواهد بود. اگر ضریب تغییرات کم‌تر از ۲۰ درصد باشد، دقت آزمایش عالی؛ اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، دقت آزمایش قابل قبول و اگر بیش‌تر از ۳۰ درصد باشد، دقت غیرقابل قبول خواهد بود (۸۵).

نتایج و بحث

داده‌های آزمایش‌های نفوذپذیری در سه بخش مختلف دامنه در سه فصل مختلف سال به صورت منحنی‌های شدت نفوذپذیری به تفکیک دامنه و سال ترسیم گردیدند. شکل ۳، این منحنی‌ها را به تفکیک سه بخش دامنه و شکل ۴، آن‌ها را به تفکیک فصل سال نشان می‌دهد. شدت نفوذپذیری اولیه در بالادست دامنه (شیب صفر درصد) در فصل پاییز ۱۷، در فصل زمستان ۸/۷ و در فصل بهار ۱۲ میلیمتر بر دقیقه بوده است. این متغیر در بخش میانی (شیب ۲۲ درصد) در فصل پاییز ۱۷/۴، در فصل زمستان ۹/۷ و در فصل بهار ۱۵/۵ میلی‌متر بر دقیقه بوده است و در پایین‌دست دامنه (شیب ۲۸ درصد) در فصل پاییز ۱۷/۳، در فصل زمستان ۱۱ و در فصل بهار ۱۱/۵ میلی‌متر بر دقیقه بوده است. شدت نفوذپذیری متوسط در بالادست دامنه در فصل پاییز ۰/۴۰۵، در فصل زمستان ۰/۳۱۴ و در فصل بهار ۰/۲۳۵ اندازه‌گیری شده است. مقدار شدت نفوذپذیری متوسط در فصل پاییز، زمستان و بهار در بخش میانی دامنه به ترتیب ۰/۴۰۸، ۰/۱۸۹ و ۰/۱۷۲ میلی‌متر بر دقیقه بوده است درحالی‌که میزان آن در این سه فصل در پایین‌دست دامنه به ترتیب ۰/۴۲۰، ۰/۱۶۰ و ۰/۲۴۲ اندازه‌گیری شده است. شدت نفوذپذیری نهایی در بالادست دامنه در فصل پاییز ۰/۰۴۷، در فصل زمستان ۰/۰۵۳ و در

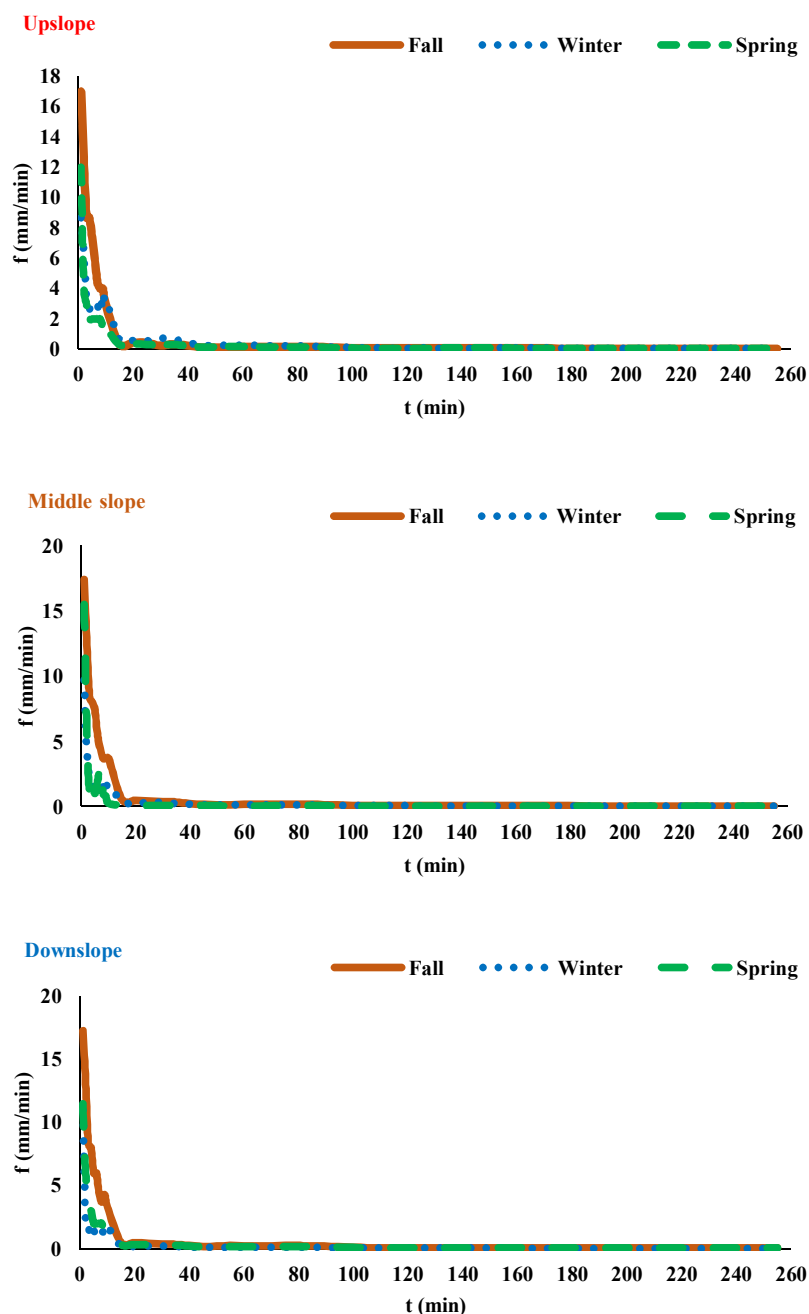
فصل بهار ۰/۰۵۷ میلی‌متر در دقیقه بوده است. در بخش میانی دامنه در فصل پاییز، شدت نفوذپذیری نهایی ۰/۰۴۷، در فصل زمستان ۰/۰۲۳ و در فصل بهار به میزان ۰/۰۵۰ میلی‌متر در دقیقه اندازه‌گیری شده است. این متغیر در پایین‌دست دامنه در فصل پاییز ۰/۰۴۷، در فصل زمستان ۰/۰۲۳ و در فصل بهار ۰/۰۴۷ میلی‌متر در دقیقه بوده است. رطوبت اولیه خاک در بالادست دامنه در فصول پاییز، زمستان و بهار به ترتیب ۲/۴۲، ۸/۲۶ و ۵/۲۳ درصد بوده است؛ ولی رطوبت اشباع خاک نوسانات کم‌تری داشته و مقدار آن در فصول یاد شده به ترتیب ۱۱/۴۰، ۱۲/۳۴ و ۱۳/۱۰ درصد اندازه‌گیری شده است. در بخش میانی دامنه و در فصل پاییز رطوبت اولیه خاک ۱/۹۵ درصد و رطوبت اشباع ۱۱/۳۳ درصد، در فصل زمستان رطوبت اولیه خاک ۶/۳۸ درصد و رطوبت اشباع خاک ۱۱/۶۰ درصد و در فصل بهار رطوبت اولیه خاک ۶/۵۷ درصد و رطوبت اشباع خاک ۱۲/۳۴ درصد بوده است. در پایین‌دست دامنه، در فصل پاییز، رطوبت اولیه و اشباع خاک به ترتیب ۲/۰۸ و ۱۲/۵۰ درصد بوده‌اند. این دو نوع رطوبت در فصل زمستان به ترتیب ۷/۸۳ و ۱۵/۸۰ درصد و در فصل بهار ۵/۲۸ و ۱۷/۹۶ درصد اندازه‌گیری شده‌اند (جدول ۳).

همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ و جدول ۳ دیده می‌شود، منحنی‌های شدت نفوذپذیری متوسط چه در بخش‌های مختلف دامنه و چه در فصول مختلف سال در وضعیتی بوده‌اند که به نظر می‌رسد تفاوت فاحشی با هم ندارند؛ به همین دلیل، برای بررسی دقیق‌تر، تجزیه واریانس داده‌ها انجام شد.

نتایج حاصل از آزمایش‌های نفوذپذیری شامل محاسبه شدت نفوذپذیری اولیه، شدت نفوذپذیری متوسط و شدت نفوذپذیری نهایی و هم‌چنین اندازه‌گیری رطوبت اولیه و اشباع خاک در جدول ۳ آمده است. هر کدام از داده‌های این جدول، میانگین

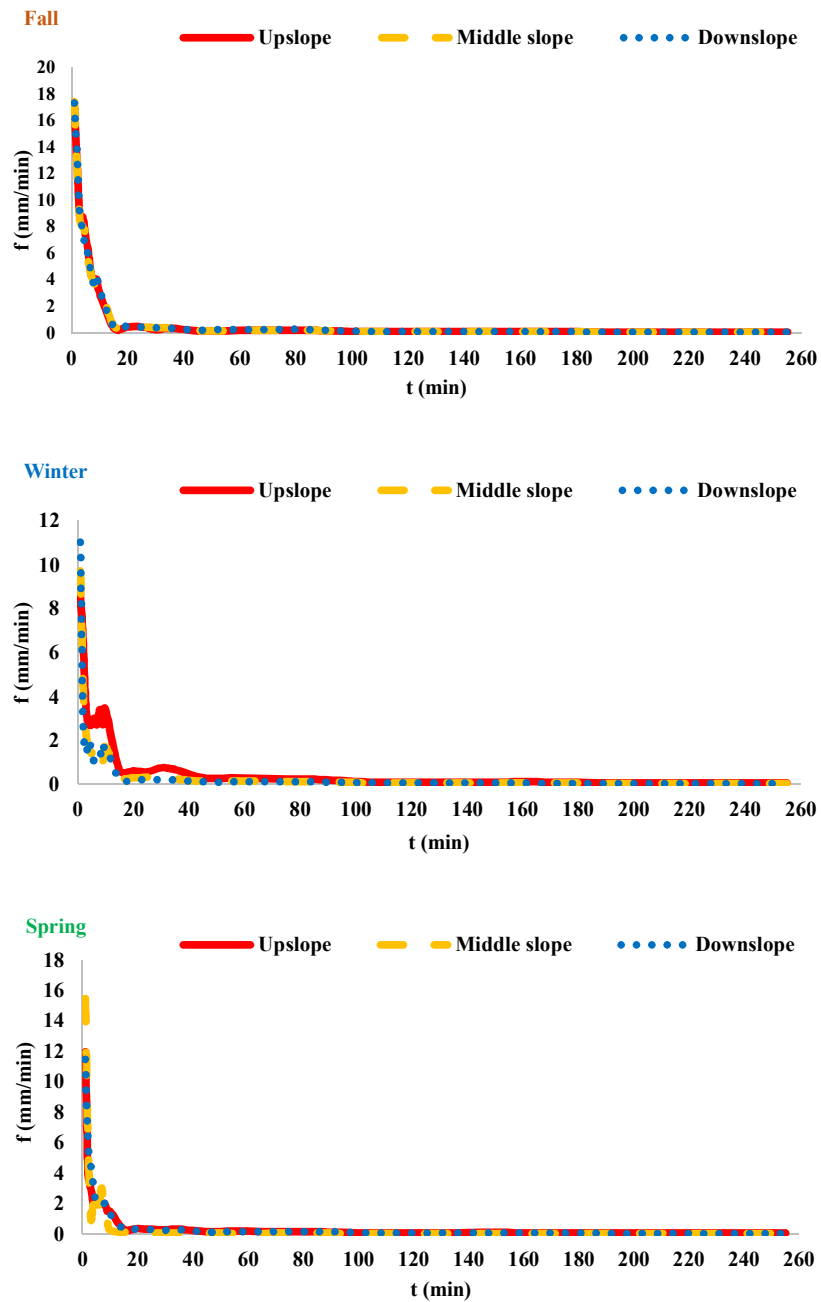
شدت نفوذپذیری متوسط و شدت نفوذپذیری نهایی، واریانس داده‌ها تجزیه و تحلیل شد که نتایج آن در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ آمده است.

سه تکرار در هر سه نقطه در هر سه فصل سال می‌باشند. به منظور بررسی تأثیر موقعیت دامنه (شیب‌های صفر، ۲۲ و ۲۸ درصد) و فصول سال (پاییز، زمستان و بهار) بر شدت نفوذپذیری اولیه،



شکل ۳- منحنی شدت نفوذپذیری در سه بخش دامنه: بالادست (Upslope)، میانی (Middle slope) و پایین‌دست (Downslope).

Figure 3. Infiltration rate curves for three points on the study slope: Upslope, Middle slope, and Downslope.



شکل ۴- منحنی شدت نفوذپذیری در سه فصل سال: پاییز (Fall)، زمستان (Winter) و بهار (Spring).

Figure 4. Infiltration rate curves for three seasons: Fall, Winter, and Spring.

جدول ۳- ویژگی‌های نفوذ آب به داخل خاک، رطوبت اولیه و اشباع خاک در سه بخش مختلف دامنه در سه فصل سال.

Table 3. Infiltration, initial soil moisture, and saturated soil moisture characteristics on three points of the study slope during three seasons of year.

پایین‌دست دامنه Downslope			میان‌دامنه Middle slope			بالادست دامنه Upslope			متغیر Variable
بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Fall	بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Fall	بهار Spring	زمستان Winter	پاییز Fall	
11.5	11.0	17.3	15.5	9.7	17.4	12.0	8.7	17.0	شدت نفوذپذیری اولیه Initial Infiltration Rate (mm/min)
0.242	0.160	0.420	0.172	0.189	0.408	0.235	0.314	0.405	شدت نفوذپذیری متوسط Average Infiltration Rate (mm/min)
0.047	0.023	0.047	0.050	0.030	0.047	0.057	0.053	0.047	شدت نفوذپذیری نهایی Final Infiltration Rate (mm/min)
5.28	7.83	2.08	6.57	6.38	1.95	5.23	8.26	2.42	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture (%)
17.96	15.80	12.50	12.34	11.60	11.33	13.10	12.34	11.40	رطوبت اشباع خاک Saturate Soil Moisture (%)

بیش‌تر است. دلیل آن می‌تواند مربوط به رطوبت اولیه خاک باشد که مقدار آن در پاییز از دو فصل دیگر کم‌تر بوده است که این باعث افزایش پتانسیل ماتریک خاک می‌شود و در نتیجه، خاک قابلیت و ظرفیت بیش‌تری برای نفوذ آب خواهد داشت. این نتیجه با نتایج سردا (۱۹۹۶)، سردا (۱۹۹۹) و دایموند (۲۰۰۴) (۵۵، ۵۶ و ۵۷) مطابقت دارد که رطوبت اولیه خاک را عامل اصلی تفاوت در میزان نفوذپذیری در فصول مختلف سال دانسته‌اند. تفاوت آماری معنی‌داری بین شدت نفوذپذیری اولیه بین دو فصل زمستان و بهار مشاهده نشد که دلیل آن می‌تواند رطوبت اولیه خاک تقریباً یکسان در این دو فصل باشد.

نتیجه تجزیه واریانس اثر موقعیت دامنه و فصل سال بر شدت نفوذپذیری اولیه در جدول ۴ آمده است. یافته‌ها بیانگر آن است که موقعیت دامنه تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.05$) بر روی شدت نفوذپذیری اولیه ندارد؛ بدین معنی که شدت‌های نفوذپذیری اولیه در بالادست، وسط و پایین‌دست دامنه تفاوت معنی‌داری با هم ندارند و رفتار این متغیر در سه بخش مختلف دامنه یکسان است. برعکس، فصل سال اثر معنی‌داری بر روی شدت نفوذپذیری اولیه دارد که مفهوم آن تفاوت این متغیر در فصول مختلف سال است. آماره آزمون LSD ($3/2493$) نشان داد که شدت نفوذپذیری اولیه در فصل پاییز متفاوت از سایر فصول بوده و به صورت معنی‌دار از دو فصل زمستان و بهار

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر موقعیت دامنه و فصل سال بر شدت نفوذپذیری اولیه.

Table 4. Analysis of Variance (ANOVA) for effects of slope position and seasons of year on initial infiltration rate.

آماره F F Statistic	میانگین مربعات Mean of Squares (MS)	مجموع مربعات Sum of Squares (SS)	درجه آزادی Degrees of Freedom (df)	منبع تغییرات Source of Variation (SoV)
20.296*	41.708	83.416	2	بلوک Block (R)
0.980 ^{ns}	2.015	4.029	2	تیمار Treatment (t)
	2.055	8.218	4	اشتباه Error (E)
		95.662	8	کل Total (T)

* significant

^{ns} not significant

فصل پاییز به صورت معنی‌دار با مقدار این متغیر در فصول زمستان و بهار تفاوت داشته است و مقدار آن بالاتر می‌باشد. شدت نفوذپذیری متوسط در فصول زمستان و بهار با هم تفاوت نداشته است. پایین بودن میزان رطوبت اولیه خاک در فصل پاییز نسبت به سایر فصول می‌تواند دلیل احتمالی این تفاوت باشد.

تجزیه واریانس اثر موقعیت دامنه و فصل سال بر شدت نفوذپذیری متوسط (جدول ۵) نشان داد که میانگین شدت‌های نفوذپذیری در بخش‌های مختلف دامنه تفاوت معنی‌داری با هم ندارند و شیب دامنه تأثیری بر این متغیر نداشته است ولی فصل سال باعث تفاوت معنی‌دار بوده است. آماره آزمون LSD (۰/۱۱۵۸) نشان داد که شدت نفوذپذیری متوسط در

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر موقعیت دامنه و فصل سال بر شدت نفوذپذیری متوسط.

Table 5. Analysis of Variance (ANOVA) for effects of slope position and seasons of year on average infiltration rate.

آماره F F Statistic	میانگین مربعات Mean of Squares (MS)	مجموع مربعات Sum of Squares (SS)	درجه آزادی Degrees of Freedom (df)	منبع تغییرات Source of Variation (SoV)
14.80*	0.037	0.074	2	بلوک Block (R)
1.20 ^{ns}	0.003	0.006	2	تیمار Treatment (t)
	0.0025	0.01	4	اشتباه Error (E)
		0.09	8	کل Total (T)

* significant

^{ns} not significant

بهار تفاوت معنی‌داری نداشته است و همچنین این فاکتور در بخش‌های مختلف دامنه شیب‌دار مورد مطالعه، تغییر نداشته است. برخلاف شدت نفوذپذیری اولیه و متوسط که تحت تأثیر رطوبت اولیه خاک بودند، این فاکتور از رطوبت اولیه خاک تأثیری نگرفته است.

در این پژوهش، اثر موقعیت دامنه و فصل سال بر روی شدت نفوذپذیری نهایی هم بررسی گردید که نتایج آن در جدول ۶ آمده است. نتایج نشان داد که شیب دامنه و فصل سال هیچ تأثیری بر مقدار شدت نفوذپذیری نهایی نداشته است بدین معنی که مقدار شدت نفوذپذیری نهایی در فصول پاییز، زمستان و

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر موقعیت دامنه و فصل سال بر شدت نفوذپذیری نهایی.

Table 6. Analysis of Variance (ANOVA) for effects of slope position and seasons of year on final infiltration rate.

آماره F F Statistic	میانگین مربعات Mean of Squares (MS)	مجموع مربعات Sum of Squares (SS)	درجه آزادی Degrees of Freedom (df)	منبع تغییرات Source of Variation (SoV)
3.50 ^{ns}	0.00021	0.00041	2	بلوک Block (R)
2.50 ^{ns}	0.00015	0.00029	2	تیمار Treatment (t)
	0.00006	0.00026	4	اشتباه Error (E)
		0.00096	8	کل Total (T)

^{ns} not significant

مقدار ۱۰/۷۴۱ بوده است که مقدار ضریب تبیین ۰/۹۱۴ به درستی آن گواه می‌دهد. بیشترین ضریب تغییرات هم مربوط به میانگین شدت نفوذپذیری بوده است که مقدار آن ۱۸/۰۶۸ می‌باشد و ضریب تبیین آن ۰/۸۸۴ است. این نتایج گواه این واقعیت است که در اندازه‌گیری شدت نفوذپذیری اولیه، محاسبه شدت نفوذپذیری متوسط و اندازه‌گیری شدت نفوذپذیری نهایی و تجزیه آماری آن‌ها، دقت لازم به کار رفته است و داده‌های آزمایشی کیفیت لازم را داشته‌اند.

در خصوص دقت آزمایش‌های انجام شده و تجزیه واریانس تحلیل شده در این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که چون ضرایب تبیین تجزیه واریانس هر سه متغیر نفوذپذیری بالاتر از ۰/۷ و ضرایب تغییرات کم‌تر از ۲۰ درصد بوده است، تمامی آزمایش‌ها دارای دقت عالی بوده و تحلیل‌های تجزیه واریانس هم از کیفیت و اعتبار بسیار بالایی برخوردار بوده‌اند که نتایج آن در جدول ۷ آمده است. کم‌ترین ضریب تغییرات مربوط به شدت نفوذپذیری اولیه با

جدول ۷- شاخص‌های ارزیابی شده در تجزیه و تحلیل واریانس اثر موقعیت دامنه و فصل سال بر نفوذپذیری.

Table 7. Indices of assessment for ANOVA of slope position and season of year effects on infiltration.

ضریب تغییرات Coefficient of Variation (CV)	ریشه میانگین مربعات اشتباه Root Mean Squared Error (RMSE)	ضریب تبیین Coefficient of Determination (R ²)	میانگین Mean	متغیر Variable
10.741	1.433	0.914	13.34	شدت نفوذپذیری اولیه Initial Infiltration Rate (mm/min)
18.068	0.051	0.884	0.283	شدت نفوذپذیری متوسط Average Infiltration Rate (mm/min)
17.970	0.008	0.732	0.045	شدت نفوذپذیری نهایی Final Infiltration Rate (mm/min)

مستقیم با ضریب تبیین ۰/۹۸۸۱ است که قوی می‌باشد. دلیل این نتایج این است که شدت نفوذپذیری اولیه در لحظات اولیه بارش زمانی که خاک هنوز اشباع نشده است، اتفاق می‌افتد، ولی در زمانی که شدت نفوذپذیری نهایی ثبت می‌گردد، خاک اشباع شده است. در میان‌دامنه با شیب ۲۲ درصد، شدت نفوذپذیری اولیه با لگاریتم نپین رطوبت اولیه خاک دارای رابطه خطی ساده و معکوس است که با توجه به ضریب تبیین ۰/۴۵۵۲ می‌توان گفت رابطه‌ای با شدت متوسط است. همین شدت در این نقطه با رطوبت اشباع خاک به صورت یک مدل توانی ارتباط دارد؛ ولی چون ضریب تبیین آن بسیار پایین است (۰/۰۰۴۳)، می‌توان نتیجه گرفت که ارتباط خاصی وجود ندارد. رابطه شدت نفوذپذیری متوسط در میان‌دامنه با رطوبت اولیه خاک به صورت یک مدل خطی ساده و مستقیم با ضریب تبیین ۰/۹۹۹۳ است که قوی است. رابطه این شدت نفوذ با رطوبت اشباع خاک در همین نقطه با یک مدل نمایی قابل توجه است که چون ضریب تبیین آن ۰/۶۰۷۵ است، می‌توان گفت ارتباطی نسبتاً قوی است. رابطه شدت نفوذپذیری نهایی در نقطه میانی دامنه هم با رطوبت اولیه (ضریب تبیین ۰/۱۳۵۳) و هم با رطوبت اشباع خاک (ضریب تبیین ۰/۱۶۵۳) ضعیف است اگر چه مدل رفتاری آن‌ها متفاوت بوده است بدین معنی که با رطوبت اولیه

به‌منظور درک بهتر رفتار سه متغیر شدت نفوذپذیری اولیه، شدت نفوذپذیری متوسط و شدت نفوذپذیری نهایی در شیب‌های مختلف یک دامنه و فصول مختلف سال، روابط رگرسیونی این سه متغیر با رطوبت اولیه و اشباع خاک هم در شیب‌های مختلف و هم در فصول مختلف بررسی گردید (جدول ۸).

نتایج نشان داد که در بالادست دامنه، رابطه شدت نفوذپذیری اولیه با رطوبت اولیه و اشباع خاک به صورت یک رابطه لگاریتمی معکوس است هر چند که ضریب تبیین بالاتر رطوبت اولیه خاک (۰/۹۹۹۲) نسبت به رطوبت اشباع خاک (۰/۴۳۶۸) بیانگر وابستگی شدیدتر شدت نفوذپذیری اولیه به رطوبت اولیه خاک دارد. در همین نقطه، شدت نفوذپذیری متوسط با رطوبت اولیه خاک دارای یک رابطه لگاریتمی معکوس با درجه وابستگی متوسط (ضریب تبیین ۰/۴۲۴۹) می‌باشد درحالی‌که همین شدت نفوذ با رطوبت اشباع خاک یک رابطه خطی ساده و معکوس با درجه وابستگی قوی (ضریب تبیین ۰/۹۹۹۶) برقرار کرده است. شدت نفوذپذیری نهایی برعکس شدت نفوذپذیری اولیه در بالادست دامنه رفتار کرده است بدین معنی که رابطه آن با رطوبت اولیه خاک به صورت یک مدل توانی با ضریب تبیین ۰/۵۹۷۱ بوده است که نسبتاً قوی است؛ ولی رابطه آن با رطوبت اشباع به صورت یک رابطه لگاریتمی

در فصل زمستان، شدت نفوذپذیری اولیه به صورت مدل نمایی با رطوبت اولیه خاک مرتبط بوده است هر چند که به دلیل ضریب تبیین پایین $0/0312$ می‌توان گفت این ارتباط ضعیف است. شدت نفوذپذیری متوسط هم با رطوبت اولیه و هم با رطوبت اشباع خاک دارای همبستگی متوسط به ضرایب تبیین $0/2884$ و $0/3136$ می‌باشد که البته این ارتباط با اولی به صورت مدل خطی ساده و مستقیم و با دومی به صورت مدل نمایی بوده است. شدت نفوذپذیری نهایی در فصل زمستان رفتاری دقیقاً مشابه با شدت نفوذپذیری متوسط نشان داده است؛ چون با رطوبت اولیه خاک به صورت خطی ساده و مستقیم با ضریب تبیین $0/2553$ (همبستگی متوسط) و با رطوبت اشباع خاک به صورت نمایی با ضریب تبیین $0/3748$ (همبستگی متوسط) ارتباط داشته است. در فصل بهار، شدت نفوذپذیری اولیه با رطوبت اولیه خاک یک رابطه قوی خطی ساده و مستقیم دارد که ضریب تبیین آن $0/9771$ است؛ اما با رطوبت اشباع خاک به صورت مدل نمایی همبستگی داشته که ضریب تبیین آن $0/5191$ می‌باشد و نسبتاً قوی است. شدت نفوذپذیری متوسط دارای مدل همبستگی نمایی با رطوبت اولیه خاک بوده که چون ضریب تبیین آن $0/9872$ است، قوی می‌باشد؛ ولی مدل همبستگی آن با رطوبت اشباع خاک از نوع لگاریتمی مستقیم بوده که درجه همبستگی آن باتوجه به ضریب تبیین $0/4765$ ، متوسط می‌باشد. ارتباط شدت نفوذپذیری نهایی در فصل بهار با رطوبت اولیه خاک از طریق مدل لگاریتمی مستقیم توجیه پذیر است که ضریب تبیین آن $0/0527$ می‌باشد و درجه همبستگی آن ضعیف است. همین شدت با رطوبت اشباع خاک به صورت نمایی همبستگی داشته که ضریب تبیین آن $0/4714$ بوده و متوسط می‌باشد.

به صورت مدل توانی و با رطوبت اشباع به صورت یک مدل خطی ساده و مستقیم مرتبط است. در پایین دست دامنه (شیب 28 درصد)، شدت نفوذپذیری اولیه با هر دو نوع رطوبت اولیه (ضریب تبیین $0/9591$) و اشباع خاک (ضریب تبیین $0/8281$) همبستگی قوی داشته است با این تفاوت که مدل ارتباط با رطوبت اولیه، توانی و با رطوبت اشباع، لگاریتمی معکوس می‌باشد. مدل ارتباطی شدت نفوذپذیری متوسط هم با رطوبت اولیه و هم با رطوبت اشباع خاک به صورت لگاریتمی است با این تفاوت که با اولی مستقیم با ضریب تبیین $0/9997$ (همبستگی قوی) و با دومی معکوس با ضریب تبیین $0/6171$ (همبستگی نسبتاً قوی) می‌باشد. شدت نفوذپذیری نهایی با رطوبت اولیه خاک دارای مدل ارتباطی خطی ساده با ضریب تبیین $0/6904$ است که نسبتاً قوی است؛ ولی با رطوبت اشباع خاک دارای مدل ارتباطی توانی با ضریب تبیین $0/0278$ بوده که ضعیف می‌باشد.

بررسی شدت‌های نفوذپذیری در فصول مختلف نشان داد که در فصل پاییز، شدت نفوذپذیری اولیه با رطوبت اولیه خاک دارای ارتباط خطی ساده و معکوس است که ضریب تبیین آن $0/9989$ بوده و قوی می‌باشد. همین شدت به صورت نمایی با رطوبت اشباع خاک همبستگی ایجاد نموده که چون ضریب تبیین آن $0/0520$ است، ضعیف تفسیر می‌گردد. شدت نفوذپذیری متوسط با رطوبت اولیه خاک با مدل نمایی همبستگی نشان داده است که باتوجه به ضریب تبیین $0/1776$ ، می‌توان گفت این همبستگی ضعیف می‌باشد؛ درحالی که با رطوبت اشباع خاک دارای یک همبستگی قوی از نوع خطی ساده و مستقیم با ضریب تبیین $0/9445$ است. شدت نفوذپذیری نهایی در فصل پاییز هیچ‌گونه ارتباطی با رطوبت اولیه و رطوبت اشباع خاک نشان نداده است.

جدول ۸- وابستگی شدت نفوذپذیری اولیه، میانگین شدت نفوذپذیری و شدت نفوذپذیری نهایی به رطوبت اولیه و اشباع خاک در سه شیب مختلف دامنه و در فصول مختلف سال.

Table 8. Dependence of initial infiltration rate, average infiltration rate, and final infiltration rate on initial soil moisture and saturated soil moisture on three points of study slope during three seasons of year.

شدت وابستگی Magnitude of Dependence	ضریب تبیین R ²	مدل Model	متغیر مستقل (x) Independent Variable	متغیر وابسته (y) Dependent Variable	طبقه‌بندی Classification	فاکتور Factor
قوی Strong	0.9992	$y = -6.745 \ln(x) + 23.022$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری اولیه Initial Infiltration Rate		
متوسط Medium	0.4368	$y = -39.61 \ln(x) + 111.84$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture			
متوسط Medium	0.4249	$y = -0.09 \ln(x) + 0.4575$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری متوسط	بالادست دامنه	
قوی Strong	0.9996	$y = -0.1003x + 1.5502$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Average Infiltration Rate	Upslope	
نسبتاً قوی Relatively Strong	0.5971	$y = 0.043x^{0.1239}$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری نهایی Final Infiltration Rate		
قوی Strong	0.9881	$y = 0.0726 \ln(x) - 0.1297$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture			
متوسط Medium	0.4552	$y = -3.902 \ln(x) + 19.925$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری اولیه Initial Infiltration Rate		
ضعیف Weak	0.0043	$y = 4.4537x^{0.4584}$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture			
قوی Strong	0.9993	$y = 0.0504x + 0.5065$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری متوسط	میان دامنه	دامنه
نسبتاً قوی Relatively Strong	0.6075	$y = 2E+0.8x^{-8.381}$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Average Infiltration Rate	Middle slope	Slope
ضعیف Weak	0.1353	$y = 0.0511x^{-0.147}$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری نهایی Final Infiltration Rate		
ضعیف Weak	0.1653	$y = 0.0083x - 0.055$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture			
قوی Strong	0.9591	$y = 22.137x^{0.359}$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری اولیه Initial Infiltration Rate		
قوی Strong	0.8281	$y = -17.34 \ln(x) + 60.51$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture			
قوی Strong	0.9997	$y = 195 \ln(x) + 0.5832$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری متوسط	پایین دست دامنه	
نسبتاً قوی Relatively Strong	0.6171	$y = -0.567 \ln(x) + 1.818$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Average Infiltration Rate	Downslope	
نسبتاً قوی Relatively Strong	0.6904	$y = -0.0039x + 0.586$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری نهایی Final Infiltration Rate		
ضعیف Weak	0.0278	$y = 0.0996x^{0.363}$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture			

ادامه جدول ۸-

Continue Table 8.

شدت وابستگی Magnitude of Dependence	ضریب تیین R ²	مدل Model	متغیر مستقل (x) Independent Variable	متغیر وابسته (y) Dependent Variable	طبقه‌بندی Classification	فاکتور Factor
قوی Strong	0.9989	$y = -0.847x + 19.055$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری اولیه		
ضعیف Weak	0.0520	$y = 16.402e^{0.0042x}$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Initial Infiltration Rate		
ضعیف Weak	0.1776	$y = 0.4395e^{-0.031x}$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری متوسط	پاییز Fall	
قوی Strong	0.9445	$y = 0.0111x + 0.2809$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Average Infiltration Rate		
بدون ارتباط No Relation	---	$y = 0.0467x^{5E-14}$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری نهایی		
بدون ارتباط No Relation	---	$y = 0.0467e^{2E-14x}$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Final Infiltration Rate		
ضعیف Weak	0.0312	$y = 11.42e^{-0.021x}$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری اولیه		
نسبتاً قوی Relatively Strong	0.6678	$y = 0.4204x + 4.2315$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Initial Infiltration Rate		
متوسط Medium	0.2884	$y = 0.0446x - 0.1124$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری متوسط	زمستان Winter	فصل Season
متوسط Medium	0.3136	$y = 0.6757e^{-0.088x}$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Average Infiltration Rate		
متوسط Medium	0.2553	$y = 0.0081x - 0.0249$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری نهایی		
متوسط Medium	0.3748	$y = 0.1548e^{-0.116x}$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Final Infiltration Rate		
قوی Strong	0.9771	$y = 2.8136x - 3.1284$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری اولیه		
نسبتاً قوی Relatively Strong	0.5191	$y = 59.698x^{-0.577}$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Initial Infiltration Rate		
قوی Strong	0.9872	$y = 0.8679e^{-0.24x}$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری متوسط	بهار Spring	
متوسط Medium	0.4765	$y = 0.1313 \ln(x) - 0.1329$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Average Infiltration Rate		
ضعیف Weak	0.0527	$y = 0.0091 \ln(x) + 0.668$	رطوبت اولیه خاک Initial Soil Moisture	شدت نفوذپذیری نهایی		
متوسط Medium	0.4714	$y = 0.0702e^{-0.022x}$	رطوبت اشباع خاک Saturated Soil Moisture	Final Infiltration Rate		

شدت‌های نفوذپذیری به رطوبت اولیه و اشباع خاک کم‌تر است هر چند که به رطوبت اولیه خاک بیش‌تر از رطوبت اشباع خاک می‌باشد. نقش رطوبت اولیه و اشباع خاک در توجیه‌پذیری شدت‌های نفوذپذیری در فصل پاییز تقریباً یکسان است و درجه وابستگی آن متوسط می‌باشد؛ در حالی که در فصل زمستان و بهار، ارتباط شدت‌های نفوذپذیری با رطوبت اولیه و اشباع خاک قوی‌تر است هر چند که با رطوبت اشباع خاک ارتباط جزئی بیش‌تری وجود دارد. مدل‌های متفاوت همبستگی بین شدت‌های نفوذپذیری با رطوبت اولیه و اشباع خاک در قسمت‌های مختلف دامنه و در فصول مختلف سال با درجات همبستگی متفاوت، بیانگر سرشت پیچیده نفوذپذیری در شیب‌های مختلف در فصول مختلف سال می‌باشد بدین معنی که خاک هر منطقه در فصول مختلف سال تحت رطوبت‌های مختلف، می‌تواند واکنش متفاوتی به بارش در قسمت‌های مختلف یک دامنه داشته باشد. به نظر می‌رسد لازم است عوامل دیگری از جمله نوع خاک و پوشش گیاهی هم مورد بررسی قرار گیرند تا بتوان این نوع رفتار متفاوت شدت‌های نفوذپذیری را در دامنه‌های مختلف و در فصول مختلف سال به صورت دقیق توضیح داد. به دلیل عدم وجود مطالعه‌ای کاملاً مشابه، امکان مقایسه نتایج با دیگران به صورت دقیق وجود نداشت؛ اما به‌طور کلی وابستگی نفوذپذیری به رطوبت اولیه خاک به‌وسیله گرین (۱۹۶۲)، شیوم و لازبای (۱۹۶۳) و واعظی و بهتری (۲۰۱۸) (۵۲، ۵۳ و ۵۴) تأیید شده است. تفاوت شدت نفوذپذیری در فصول مختلف سال در این پژوهش موافق یافته‌های پژوهش‌گران قبلی از جمله سردا (۱۹۹۶)، سردا (۱۹۹۹)، دایموند (۲۰۰۴)، اوکاتا و همکاران (۲۰۱۴) و دل تورو گوئرو و همکاران (۲۰۱۸) (۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۸ و ۵۹) بوده است.

نفوذ آب به داخل خاک در بخش‌های مختلف یک دامنه فرایند پیچیده‌ای است که نیاز به بررسی دقیق دارد. این فرایند زمانی پیچیده‌تر می‌شود که فصول مختلف سال با میزان رطوبت اولیه و اشباع خاک هم تأثیرگذار باشند. در این پژوهش که بر روی یک دامنه ۶۰ متری در داخل محوطه دانشگاه کردستان انجام شد، سه متغیر شدت نفوذپذیری اولیه، شدت نفوذپذیری متوسط و شدت نفوذپذیری نهایی در سه بخش مختلف بالادست، میانی و پایین‌دست دامنه در سه فصل پاییز، زمستان و بهار بررسی شدند. هیچ‌کدام از سه متغیر مذکور در بخش‌های مختلف دامنه تفاوت آماری معنی‌داری با هم نداشتند که این بدین معنی است که شیب بر روی نفوذ آب به داخل خاک مؤثر نبوده است و این برخلاف این تصور عمومی در علوم هیدرولوژی است که شیب باعث کاهش نفوذ آب به داخل خاک می‌شود. این یافته هم‌راستا با نتایج سردا و گارسیا فایوس (۱۹۹۷) (۳۲) می‌باشد ولی مخالف نتایج ناسیف و ویلسون (۱۹۷۵)، شارما و همکاران (۱۹۸۳)، پاتین و همکاران (۲۰۱۲)، مو و همکاران (۲۰۱۵) و جیا و همکاران (۲۰۲۴) (۲۹، ۳۰، ۴۰، ۴۳ و ۴۹) است که البته دلیل آن می‌تواند شرایط متفاوت آزمایش و خصوصیات هیدرولیکی متفاوت سطح و عمق خاک باشد. در این پژوهش ثابت شد که شیب دامنه تأثیری بر فاکتورهای دخیل در میزان ورود آب به داخل پروفیل خاک ندارد بلکه تنها فرصت ورود آب به داخل خاک را در بارش‌های کم می‌گیرد که این مسئله هم در بارش‌های زیاد اثر خود را از دست می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد که در بالادست و پایین‌دست دامنه، وابستگی شدت‌های نفوذپذیری به هر دو نوع رطوبت اولیه و اشباع خاک تقریباً یکسان است ولی در پایین‌دست این وابستگی قوی‌تر می‌باشد؛ البته باید اشاره نمود که مدل ارتباطی آن‌ها با هم متفاوت است. در میان دامنه، وابستگی

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، می‌توان به‌طور کلی نتیجه گرفت که رفتار نفوذپذیری در شیب‌های مختلف دامنه یکسان است در حالی که در فصول مختلف سال متفاوت است. این رفتار متفاوت در فصول سال با فاکتورهای رطوبت اولیه خاک و رطوبت اشباع خاک توجیه‌پذیر نیست بدین معنی که نمی‌توان الگوی خاصی از وابستگی رفتار نفوذپذیری به رطوبت اولیه خاک و رطوبت اشباع پیدا نمود هرچند که نفوذپذیری بیشتر در ارتباط با رطوبت اولیه خاک بوده است. رطوبت اولیه خاک در بخش‌های مختلف دامنه و در فصول مختلف نسبت به رطوبت اشباع خاک دارای نوسانات بیشتری بود. شاید دلیل رفتار متفاوت شدت نفوذپذیری در فصول مختلف سال وابسته به فاکتورهای دیگری مانند دمای خاک، تراکم پوشش گیاهی و سایر فاکتورهای فصلی باشد که در پژوهش‌های آینده لازم است مدنظر قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که چنین آزمایش‌هایی بر روی شیب‌های بیشتر، در کاربرهای اراضی متفاوت و با تکرار بیشتر در چند سال انجام شود تا بتوان اظهار نظر قاطع‌تری در مورد رابطه شدت نفوذپذیری با شیب و فصل سال ارائه نمود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان، استان فارس که موجبات تسهیل انجام این پژوهش را فراهم نموده‌اند، تشکر می‌نمایند. هم‌چنین از دانشگاه کردستان به جهت تسهیل دسترسی به بازدیدهای میدانی و استفاده از امکانات آزمایشگاهی، تقدیر و تشکر می‌شود.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش مربوط به پایان‌نامه دوره کارشناسی‌ارشد نویسنده دوم است که در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ انجام شده است و با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی می‌باشند.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این مقاله به‌صورت زیر است:

نویسنده اول: طرح موضوع پژوهش، طرح تحقیق و روش‌شناسی، نظارت تحقیق، تهیه پیش‌نویس مقاله، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله.

نویسنده دوم: داده‌برداری میدانی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و استخراج نتایج.

نویسنده سوم: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها، نظارت تحقیق.

اصول اخلاقی انجام و انتشار تحقیق

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان انجام شده است و هزینه‌های چاپ مقاله از محل گرنت پژوهشی سال ۱۴۰۰ نویسنده مسئول به شماره ۰۰۹/۳۴۰۲۷۶۵/ص بوده است.

منابع

1. Horton, R. E. (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 14 (1), 446-460. <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>.
2. Wang, X. P., Cui, Y., Pan, Y. X., Li, X. R., Yu, Z., & Young, M. H. (2008). Effects of rainfall characteristics on infiltration and redistribution patterns in revegetation-stabilized desert ecosystems. *Journal of Hydrology*, 358 (1-2), 134-143. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.06.002>.
3. Corradini, C. (2014). Soil moisture in the development of hydrological processes and its determination at different spatial scales. *Journal of Hydrology*, 516, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.051>.
4. Dunne, T., & Leopold, L. B. (1978). *Water in environmental planning*. Macmillan. San Francisco, 818 p.
5. Smith, H. L., & Leopold, L. B. (1942). Infiltration studies in the Pecos River watershed, New Mexico and Texas. *Soil Science*, 53 (3), 195-204.
6. Parr, J. F., & Bertrand, A. R. (1960). Water infiltration into soils. *Advances in Agronomy*, 12, 311-363. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60086-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60086-3).
7. Williams, R. E., & Allman, D. W. (1969). Factors affecting infiltration and recharge in a loess covered basin. *Journal of Hydrology*, 8 (3), 265-281. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(69\)90002-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(69)90002-X).
8. Tricker, A. S. (1981). Spatial and temporal patterns of infiltration. *Journal of Hydrology*, 49 (3-4), 261-277. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(81\)90217-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(81)90217-1).
9. Poesen, J. (1984). The influence of slope angle on infiltration rate and Hortonian overland flow. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Band*, 49, 117-131. <https://lirias.kuleuven.be/1616022?limo=0>.
10. Smith, R. E., Corradini, C., & Melone, F. (1993). Modeling infiltration for multistorm runoff events. *Water Resources Research*, 29 (1), 133-144. <https://doi.org/10.13031/2013.42239>.
11. Thompson, S. E., Harman, C. J., Heine, P., & Katul, G. G. (2010). Vegetation/infiltration relationships across climatic and soil type gradients. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 115, G2. <https://doi.org/10.1029/2009JG001134>.
12. Lai, W., Ogden, F. L., Steinke, R. C., & Talbot, C. A. (2015). An efficient and guaranteed stable numerical method for continuous modeling of infiltration and redistribution with a shallow dynamic water table. *Water Resources Research*, 51 (3), 1514-1528. <https://doi.org/10.1002/2014WR016487>.
13. Wu, S., Chui, T. F. M., & Chen, L. (2021). Modeling slope rainfall-infiltration-runoff process with shallow water table during complex rainfall patterns. *Journal of Hydrology*, 599, 126458. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126458>.
14. Vereecken, H., Amelung, W., Bauke, S. L., Bogaen, H., Brüggemann, N., Montzka, C., Vanderborght, J., Bechtold, M., Blöschl, G., Carminati, A., Javaux, M., Konings, A. G., Kusche, J., Neuweiler, I., Or, D., Steele-Dunne, S., Verhoef, A., Young, M., & Zhang, Y. (2022). Soil hydrology in the Earth system. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3 (9), 573-587. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00324-6>.
15. Wu, S., Ma, D., Liu, Z., Zhang, J., Chen, L., Pan, X., & Chen, L. (2022). An approximate solution to one-dimensional upward infiltration in soils for a rapid estimation of soil hydraulic properties. *Journal of Hydrology*, 612, 128188. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128188>.
16. Wu, S., Ma, D., Liu, Z., Chen, L., Chen, L., & Zhang, J. (2023). A novel approximate solution to slope rainfall infiltration. *Journal of Hydrology*, 625, 130039. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130039>.
17. Wilcox, B. P., Wood, M. K., & Tromble, J. M. (1988). Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *Rangeland Ecology & Management/*

- Journal of Range Management Archives*, 41 (3), 197-206.
18. Muntohar, A. S., & Liao, H. J. (2019). Factors affecting rain infiltration on a slope using Green-Ampt model. *Journal of Physical Science*, 30 (3), 71-86. <https://doi.org/10.21315/jps2019.30.3.5>.
 19. Levy, G. J., Smith, H. J. C., & Agassi, M. (1988). Water temperature effect on hydraulic conductivity and infiltration rate of soils. *South African Journal of Plant and Soil*, 6 (4), 240-244. https://hdl.handle.net/10520/AJA02571862_290.
 20. Jaynes, D. B. (1990). Temperature variations effect on field-measured infiltration. *Soil Science Society of America Journal*, 54 (2), 305-312. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400020002x>.
 21. Borselli, L., Torri, D., Poesen, J., & Sanchis, P.S. (2001). Effects of water quality on infiltration, runoff and interrill erosion processes during simulated rainfall. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 26 (3), 329-342. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200103\)26:3<329::AID-ESP177>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200103)26:3<329::AID-ESP177>3.0.CO;2-Y).
 22. Loizeau, S., Rossier, Y., Gaudet, J. P., Refloch, A., Besnard, K., Angulo-Jaramillo, R., & Lassabatere, L. (2017). Water infiltration in an aquifer recharge basin affected by temperature and air entrapment. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 65 (3), 222-233. <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0010>.
 23. Liu, Z., Ma, D., Hu, W., & Li, X. (2018). Land use dependent variation of soil water infiltration characteristics and their scale-specific controls. *Soil and Tillage Research*, 178, 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.001>.
 24. Singh, B., Sihag, P., & Deswal, S. (2019). Modelling of the impact of water quality on the infiltration rate of the soil. *Applied Water Science*, 9, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0892-1>.
 25. Zhang, Y., Zhao, W., Li, X., Jia, A., & Kang, W. (2021). Contribution of soil macropores to water infiltration across different land use types in a desert-oasis ecoregion. *Land Degradation & Development*, 32 (4), 1751-1760. <https://doi.org/10.1002/ldr.3823>.
 26. Morbidelli, R., Corradini, C., Saltalippi, C., Flammini, A., Dari, J., & Govindaraju, R. S. (2019). A new conceptual model for slope-infiltration. *Water*, 11 (4), 678. <https://doi.org/10.3390/w11040678>.
 27. Beven, K. J. (2011). *Rainfall-runoff modelling: the primer*. John Wiley & Sons.
 28. Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., & Govindaraju, R. S. (2018). Role of slope on infiltration: A review. *Journal of hydrology*, 557, 878-886. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.019>.
 29. Nassif, S. H., & Wilson, E. M. (1975). The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration. *Hydrological Sciences Journal*, 20 (4), 539-553. <https://doi.org/10.1080/02626667509491586>.
 30. Sharma, K. D., Singh, H. P., & Pareek, O. P. (1983). Rainwater infiltration into a bare loamy sand. *Hydrological Sciences Journal*, 28 (3), 417-424. <https://doi.org/10.1080/02626668309491980>.
 31. Philip, J. R. (1991). Hillslope infiltration: Planar slopes. *Water Resources Research*, 27 (1), 109-117. <https://doi.org/10.1029/90WR01704>.
 32. Cerdà, A., & García-Fayos, P. (1997). The influence of slope angle on sediment, water and seed losses on badland landscapes. *Geomorphology*, 18 (2), 77-90. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(96\)00019-0](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(96)00019-0).
 33. Fox, D. M., Bryan, R. B., & Price, A. G. (1997). The influence of slope angle on final infiltration rate for interrill conditions. *Geoderma*, 80 (1-2), 181-194. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00075-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00075-X).
 34. Chaplot, V., & Le Bissonnais, Y. (2000). Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British*

- Geomorphological Research Group*, 25 (2), 145-153. [https://doi.org/ 10.1002/\(SICI\)1096-9837\(200002\)25:2<145::AID-ESP51>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(200002)25:2<145::AID-ESP51>3.0.CO;2-3).
35. Janeau, J. L., Bricquet, J. P., Planchon, O., & Valentin, C. (2003). Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand. *European Journal of Soil Science*, 54 (3), 543-554. [https://doi.org/ 10.1046/j.1365-2389.2003.00494.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2003.00494.x).
36. Assouline, S., & Ben-Hur, M. (2006). Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, 66 (3), 211-220. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.02.005>.
37. Chen, L., & Young, M. H. (2006). Green-Ampt infiltration model for sloping surfaces. *Water resources research*, 42, 7. <https://doi.org/10.1029/2005WR004468>.
38. Essig, E. T., Corradini, C., Morbidelli, R., & Govindaraju, R. S. (2009). Infiltration and deep flow over sloping surfaces: Comparison of numerical and experimental results. *Journal of hydrology*, 374 (1-2), 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.05.017>.
39. Ribolzi, O., Patin, J., Bresson, L. M., Latsachack, K. O., Mouche, E., Sengtahevanghoun, O., Silvera, N., Thiebaut, J. P., & Valentin, C. (2011). Impact of slope gradient on soil surface features and infiltration on steep slopes in northern Laos. *Geomorphology*, 127 (1-2), 53-63. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.12.004>.
40. Patin, J., Mouche, E., Ribolzi, O., Chaplot, V., Sengtahevanghoun, O., Latsachak, K. O., Souleuth, B., & Valentin, C. (2012). Analysis of runoff production at the plot scale during a long-term survey of a small agricultural catchment in Lao PDR. *Journal of Hydrology*, 426, 79-92. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01.015>.
41. Lv, M., Hao, Z., Liu, Z., & Yu, Z. (2013). Conditions for lateral downslope unsaturated flow and effects of slope angle on soil moisture movement. *Journal of Hydrology*, 486, 321-333. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.013>.
42. Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., Cifrodelli, M., Corradini, C., & Govindaraju, R. S. (2015). Infiltration on sloping surfaces: Laboratory experimental evidence and implications for infiltration modeling. *Journal of Hydrology*, 523, 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.041>.
43. Mu, W., Yu, F., Li, C., Xie, Y., Tian, J., Liu, J., & Zhao, N. (2015). Effects of rainfall intensity and slope gradient on runoff and soil moisture content on different growing stages of spring maize. *Water*, 7 (6), 2990-3008. <https://doi.org/10.3390/w7062990>.
44. Khan, M. N., Gong, Y., Hu, T., Lal, R., Zheng, J., Justine, M. F., Azhar, M., Che, M., & Zhang, H. (2016). Effect of slope, rainfall intensity and mulch on erosion and infiltration under simulated rain on purple soil of south-western Sichuan province, China. *Water*, 8 (11), 528. <https://doi.org/10.3390/w8110528>.
45. Morbidelli, R., Saltalippi, C., Flammini, A., Cifrodelli, M., Picciafuoco, T., Corradini, C., & Govindaraju, R. S. (2016). Laboratory investigation on the role of slope on infiltration over grassy soils. *Journal of Hydrology*, 543, 542-547. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.024>.
46. Wang, J., Chen, L., & Yu, Z. (2018). Modeling rainfall infiltration on hillslopes using Flux-concentration relation and time compression approximation. *Journal of hydrology*, 557, 243-253. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.031>.
47. Duhita, A. D. P., Rahardjo, A. P., & Hairani, A. (2021). The effect of slope on the infiltration capacity and erosion of Mount Merapi Slope Materials. *International Journal of the Civil Engineering Forum*, 7 (1), 71-84. <https://doi.org/10.22146/jcef.58350/>.
48. Jain, L., & Chakma, S. (2023). Parameterisation of infiltration models using neural network under simulated hillslope experiments for different land-uses and slopes. *Journal of Earth System*

- Science*, 132 (1), 20. <https://doi.org/10.18520/cs/v124/i1/94-101>.
49. Jia, Z., Weng, B., Yan, D., Peng, H., & Dong, Z. (2024). The effects of different factors on soil water infiltration properties in High Mountain Asia: A meta-analysis. *Catena*, 234, 107583. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107583>.
50. Poesen, J. (1983). *Regenerosiemechanismen en bodemerosiegevoeligheid*. Ph.D dissertation, Faculty of Sciences, KU Leuven. <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/192366>.
51. Thornes, J. B. (1994). Catchment and channel hydrology. In *Geomorphology of desert environments* (pp. 303-332). Dordrecht: Springer Netherlands.
52. Green, R. E. (1962). *Infiltration of water into soils as influenced by antecedent moisture*. Unpublished Ph.D. thesis, Iowa State University. <https://www.proquest.com/openview/2fc5c4bb26178c1f24f8e2367734d761/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>.
53. Schumm, S. A., & Lusby, G. C. (1963). Seasonal variation of infiltration capacity and runoff on hillslopes in western Colorado. *Journal of Geophysical Research*, 68 (12), 3655-3666. <https://doi.org/10.1029/JZ068i012p03655>.
54. Vaezi, A. R., & Behtari, M. (2018). The effect of initial moisture on runoff generation and soil loss in different soil textures under simulated rainfall condition. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11 (39), 11-21. **20.1001.1.20089554.1396.11.39.1.9**. [In Persian]
55. Cerdà, A. (1996). Seasonal variability of infiltration rates under contrasting slope conditions in southeast Spain. *Geoderma*, 69 (3-4), 217-232. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0016-7061(95)00062-3).
56. Cerdà, A. (1999). Seasonal and spatial variations in infiltration rates in badland surfaces under Mediterranean climatic conditions. *Water Resources Research*, 35 (1), 319-328. <https://doi.org/10.1029/98WR01659>.
57. Diamond, J. (2004). Buck Density Determination of Chlonroche Country Soils. *Irish Geography*, 36 (2), 243-248.
58. Ukata, S. U., Akintoye, O. A., Nkpena, C. O., & Harrison, U. E. (2014). Seasonal Variations of Infiltration Rates of Forest Land Cover in Utisols Soils of Abini, Biase, Cross River State of Nigeria. *Asian Review of Environmental and Earth Sciences*, 1 (1), 16-18.
59. Del Toro-Guerrero, F. J., Vivoni, E. R., Kretschmar, T., Bullock Runquist, S. H., & Vázquez-González, R. (2018). Variations in soil water content, infiltration and potential recharge at three sites in a Mediterranean mountainous region of Baja California, Mexico. *Water*, 10 (12), 1844. <https://doi.org/10.3390/w10121844>.
60. Mazarei, R., Mohammadi, A. S., Ebrahimian, H., & Naseri, A. A. (2021). Temporal variability of infiltration and roughness coefficients and furrow irrigation performance under different inflow rates. *Agricultural Water Management*, 245, 106465. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106465>.
61. Chapi, K. (2009). *Monitoring and modeling of runoff generating areas in a small agricultural watershed*. Ph.D. Dissertation, School of Engineering, University of Guelph, 250 p.
62. Hewlett, J. D. (1961). *Soil moisture as a source of base flow from steep mountain watersheds*. *USD A Forest Service*. Southeastern Forest Experiment Station, Ashville, North Carolina, Report No. 132, 11.
63. Dunne, T. (1970). *Runoff production in a humid area*. USDA-ARS, Report ARS41-160, Washington, D.C., 108 p.
64. Dunne, T., & Black, R. D. (1970). Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. *Water resources research*, 6 (5), 1296-1311. <https://doi.org/10.1029/WR006i005p01296>.
65. Freeze, R. A. (1980). A stochastic-conceptual analysis of rainfall-runoff processes on a hillslope. *Water Resources Research*, 16 (2), 391-408. <https://doi.org/10.1029/WR016i002p00391>.
66. Hibbert, A. R., & Troendle, C. A. (1988). *Streamflow generation by variable source area*. In: *Forest*

- hydrology and ecology at Coweeta* (pp. 111-127). New York, NY: Springer New York.
67. Chapi, K., Rudra, R. P., Ahmed, S. I., Khan, A. A., Gharabaghi, B., Dickinson, W. T., & Goel, P. K. (2015). Spatial-Temporal Dynamics of Runoff Generation Areas in a Small Agricultural Watershed in Southern Ontario. *Journal of Water Resource and Protection*, 7, 14-40. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2015.71002>.
68. Emberger, L. (1932). Sur une formule climatique et ses applications en botanique. *La Météorologie*, 92, 423-432.
69. De Martonne, E. (1926). Aerisme, et indices d'aridité. *Comptesrendus de L'Academie des Sciences*, 182, 1395-1398.
70. Hanafi, A., & Hatami, I. (2013). Producing climate map for Kurdistan Province using information technology system. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 22 (87), 24-28. **20.1001.1.25883860.1392.22.87.3.4**. [In Persian]
71. Ahmadi, M., & Kamangar, M. (2023). Statistical analysis and forecasting monthly temperature of Sanandaj synoptic station with the application of SARIMA model. *Water and Soil Management and Modelling*, 3 (1), 1-13. **10.22098/mmws.2022.11080.1099**. [In Persian]
72. American Society for Testing and Materials (ASTM). (2009). *D3385-09. Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double Ring Infiltrometer*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM.
73. Johnson, A. I. (1962). *Methods of measuring soil moisture in the field*. US Department of the Interior, US Geological Survey.
74. Reynolds, S. G. (1970). The gravimetric method of soil moisture determination Part IA study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*, 11 (3), 258-273. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90066-1](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90066-1).
75. Buoyoucos, G. J. (1926). Hydrometer method for marking particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*, 54, 4661-4665.
76. Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52 (3/4), 591-611. <https://doi.org/10.2307/2333709>.
77. Kolmogorov, A. N. (1933). Sulla determinazione empirica di una legge didistribuzione. *Giorn Dell'inst Ital Degli Att*, 4, 89-91.
78. Smirnov, N. (1948). Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *The annals of mathematical statistics*, 19 (2), 279-281. <https://www.jstor.org/stable/2236278>.
79. Cramér, H. (1928a). On the composition of elementary errors: First paper: Mathematical deductions. *Scandinavian Actuarial Journal*, 1, 13-74. <https://doi.org/10.1080/03461238.1928.10416862>.
80. Cramér, H. (1928b). On the composition of elementary errors: second paper: statistical applications. *Scandinavian Actuarial Journal*, 1, 141-180. <https://doi.org/10.1080/03461238.1928.10416872>.
81. von Mises, R. (1947). On the asymptotic distribution of differentiable statistical functions. *The annals of mathematical statistics*, 18 (3), 309-348. <https://www.jstor.org/stable/2235734>.
82. Anderson, T. W., & Darling, D. A. (1952). Asymptotic theory of certain "goodness of fit" criteria based on stochastic processes. *The annals of mathematical statistics*, 193-212. <https://www.jstor.org/stable/2236446>.
83. Fisher, R. A. (1935). *The design of experiments (1st Ed.)*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
84. Latuni, F. (2019). Development of Road and Bridge Infrastructure to Enhance Economic Growth in the Coastal Communities of Tuminting District in Manado City. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, 6 (5), 780-791. <http://dx.doi.org/10.18415/ijmmu.v6i5.1143>.
85. Mangrio, A. G., Asif, M., Ahmed, E., Sabir, M. W., Khan, T., & Jahangir, I. (2013). Hydraulic performance evaluation of pressure compensating (pc) emitters and micro-tubing for drip irrigation system. *Science Technology and Development, Islamabad*, 32 (4), 290-298.