

عوامل فیزیکی تعیین کننده ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل

عاده علیجانپور شلمانی^۱، علی‌رضا واعظی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۵

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

^۲ دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: vaezi.alireza@gmail.com

چکیده

ضریب رواناب به‌عنوان معیاری برای ارزیابی پتانسیل تولید سیل حوزه آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عامل به مشخصات حوزه آبخیز بستگی داشته و طی سال دچار تغییرات زمانی می‌شود. آگاهی از حوزه‌های آبخیز مستعد تولید بیش‌تر رواناب و زمان وقوع بیش‌ترین رواناب، در برنامه‌ریزی مدیریت حوزه‌های آبخیز نقشی اساسی دارد. در این پژوهش مشخصات فیزیکی و وقایع بارش و رواناب طی دوره بیست ساله (۱۳۶۵-۱۳۸۴) در یازده حوزه آبخیز رده چهار در استان اردبیل بررسی شد. مساحت آن‌ها بین ۲۵۷ تا ۲۱۸۴ کیلومتر مربع بوده و شیب از ۱۶/۲۵ تا ۳۳/۳ درصد تغییر می‌کند. تفاوتی معنی‌دار بین ماه‌ها از نظر بارندگی ($P < 0.001$)، رواناب ($P < 0.01$) و ضریب رواناب ($P < 0.05$) وجود داشت. در برخی حوزه‌های آبخیز، رابطه‌ای معنی‌دار بین رواناب و بارندگی برقرار است که می‌تواند به دلیل ضعف پوشش گیاهی باشد. در اغلب حوزه‌های آبخیز، بیش‌ترین ضریب رواناب در فروردین (۷۰ درصد) و کم‌ترین آن در شهریور (صفر) می‌باشد. این نتیجه به دلیل فواصل کوتاه رخدادهای بارندگی و ضعف پوشش گیاهی در اوایل بهار می‌باشد. در شهریور به دلیل پوشش گیاهی مناسب، ضریب رواناب کاهش می‌یابد. ضریب رواناب تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز قرار دارد، همبستگی منفی بین ضریب رواناب و مساحت ($r = -0.80$)، طول آبراهه ($r = -0.83$) و ضریب شکل ($r = -0.82$) وجود دارد. با این وجود، این مشخصه تحت تأثیر شیب، ضریب گراولیتوس و تراکم آبراهه‌ای قرار نگرفت. نتایج نشان داد که در منطقه نیمه‌خشک، بیش‌ترین خطر پتانسیل تولید سیل مربوط به حوزه‌های آبخیز با سطح کوچک و غیرکشیده (ضریب گراولیتوس ۱/۲) به‌ویژه در اوایل بهار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، درجه حوزه آبخیز، خطر پتانسیل تولید سیل، مشخصات فیزیکی حوزه آبخیز

Physical Factors Determining Runoff Coefficient in the Watersheds of Ardabil Province

A Alijanpour Shelmani¹, AR Vaezi^{2*}

Received: 23 April 2016 Accepted: 13 February 2017

¹ Ph.D. Student, Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., University of Zanjan, Iran

² Assoc. Prof., Soil Sci. Dept., Faculty of Agric., University of Zanjan, Iran

*Corresponding Author, Email: vaezi.alireza@gmail.com

Abstract

Runoff coefficient can be used as a measure for assessing the flood generation potential of the watersheds. This factor is depending on the watershed characteristics and may vary temporally during a year. Knowledge on the watersheds with higher potential to runoff production and determining pick time of runoffs is essential for designing watershed management practices in an area. In this study, physical characteristics with rainfall and runoff data for a thirty-year period (1986-2010) were studied in eleven fourth order watersheds in Ardabil, Iran. The watersheds surface areas vary from 257 to 2184 km² and their slopes are between 16.25% and 33.3%. Significant differences were found among their monthly rainfall ($p < 0.001$), runoff ($p < 0.01$), and runoff coefficient ($p < 0.05$). There were significant relationships between runoff and rainfall in some watersheds which could be related to the poor vegetation cover. In most of the watersheds, the highest runoff coefficient (70 percentage) was appeared in April while the lowest value (zero) occurred in September. This result was associated with the shorter intervals between the rainfalls and poor vegetation cover in early spring. Suitable vegetation cover decreased the runoff coefficient in September. Runoff coefficient was significantly affected by the watersheds characteristics: the land surface area ($r = -0.80$), waterways length ($r = -0.83$) and form factor ($r = -0.83$). There were no significant correlations between runoff coefficient and land slope, Gravelious coefficient, and stream density. Results showed that in the semi-arid watersheds areas, the largest flood hazard belonged to the watersheds with lower area and non-elongated shape (Gravelious coefficient= 1.2) especially in early spring.

Keywords: Flood generation potential risk, Physical watershed characteristics, Rainfall, Watershed order

مقدمه

از آبراهه‌های کوچک و بزرگ به هم می‌پیوندند و در نهایت به سمت خروجی حوزه آبخیز هدایت می‌شود. در مواقع بحرانی سیلاب‌ها از مقطع رودخانه سرریز شده، تأسیسات و شهرهایی پایین‌دست را در معرض خطر قرار می‌دهند (مهدوی ۱۳۹۴). برآورد دقیق رواناب یک حوزه در مدیریت منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. یکی از مهمترین معیارهایی که می‌تواند برای پیش‌بینی خطر سیل مورد استفاده قرار گیرد، ضریب رواناب حوزه آبخیز است. این شاخص که عبارت از بخشی از بارندگی است که از منطقه ریزش به شکل

یکی از مسائل اساسی در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عدم استفاده بهینه از بارش‌های آسمانی است. در این گونه مناطق جدای از نقش اقلیم، استفاده بی‌رویه انسان از طبیعت موجب شده تا بخش زیادی از بارش‌های آسمانی، روی اسطح زمین جریان یافته و ضمن وارد آوردن خسارات زیان-بار به منابع طبیعی، نهایتاً از دسترس خارج شوند (اسین و اوکان ۲۰۱۱). رواناب حاصل از بارندگی، در مسیر خود پس از جریان یافتن در سطح زمین و عبور

احتمال وقوع سیل مربوط به بارن‌هایی با شدت بالا می‌باشد (سویانی ۲۰۱۱). اثر خصوصیات بارش در پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز و نفوذپذیری خاک متفاوت گزارش شده است. شدت باران عامل عمده تعیین کننده رواناب در حوزه‌های آبخیزی دارای خاک با بافت ریز، دارای نفوذپذیری کم و پوشش گیاهی تنک بود، در حالی که در خاک‌های درشت بافت و نفوذپذیر با پوشش گیاهی متراکم، مقدار رواناب ارتباط بیشتری با مقدار بارندگی نشان می‌دهد (مارتینز ۱۹۹۸). پوشش گیاهی نقشی بازدارنده در برابر تولید رواناب دارد. پوشش گیاهی از یکسو از تخریب ساختمان خاک جلوگیری کرده و از سوی دیگر سرعت رواناب‌های سطحی را کاهش می‌دهد. این دو عامل در افزایش نفوذ آب به خاک و کاهش رواناب بسیار مؤثرند (کاسرمیو ۲۰۰۴). نتایج بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر رواناب و فرسایش خاک در اسپانیا نشان داد که در کرت‌های حاوی پوشش گیاهی بالا، ضریب رواناب پایین‌تر (۰/۰۴ درصد) بوده و خاک برای مدت بیشتری در برابر فرسایش پایدار می‌ماند (مارکوز و همکاران ۲۰۰۷). اهمیت پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز جنگلی نیز بسیار آشکار است. از بین رفتن پوشش جنگلی باعث افزایش ضریب رواناب و سرعت رواناب و کوتاه شدن زمان وقوع دبی اوج سیلاب می‌شود (اولانگ و فراست ۲۰۱۱). مقایسه تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران در کاربری‌های کشاورزی در حوزه آبخیز دودانگه در استان مازندران نشان داد که تراس-بندی و کشت روی خطوط تراز بیش‌ترین تأثیر را در کاهش تولید رسوب دارند (کلارستاقی و همکاران همکاران ۱۳۸۷). بررسی اثرات تغییر کاربری زمین بر تولید رواناب با بکارگیری مدل شماره منحنی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز کسلیان نشان داد که با تغییر کاربری زمین، پتانسیل تولید رواناب به شدت افزایش یافت. بررسی تغییرات زمانی پوشش زمین بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز در تایلند نشان داد که ضریب رواناب در سال‌های مختلف به دلیل تغییر پوشش زمین تغییر می‌یابد. با به هم خوردن پوشش جنگلی و افزایش سطح اراضی کشاورزی ضریب

رواناب خارج می‌شود، در صورت افزایش ناگهانی می‌تواند خطر تولید سیل درحوزه آبخیز را افزایش دهد. در صورتی که در یک حوزه آبخیز ضریب رواناب بالاتر باشد، احتمال وقوع سیل در آن بیش‌تر می‌شود (عبدل-لطیف و ال‌شمرانی ۲۰۱۳).

ضریب رواناب حوزه آبخیز تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز مانند مساحت، شکل، شیب و تراکم آبراهه قرار می‌گیرد (مدینا و همکاران ۲۰۱۵). شکل حوزه آبخیز به نوبه خود نقشی اساسی بر خصوصیات رواناب در حوزه آبخیز دارد. به طوری که هر چقدر شکل حوزه آبخیز کشیده‌تر و طولی‌تر باشد، دبی اوج رواناب کاهش می‌یابد. حوزه‌های آبخیز گرد با زمان تمرکز کوتاه نسبت به حوزه‌های آبخیز کشیده، دبی اوج بیش‌تری دارند (پارتا ۲۰۱۱). شیب حوزه آبخیز اثری محسوس و قابل توجه در جریان سطحی آن دارد. تأثیر شیب روی مقدار رواناب، ناشی از اثر آن بر ظرفیت نگهداشت سطحی آب و همچنین فرصت نفوذ آب در خاک است. چنانچه متوسط درصد شیب حوزه آبخیز فزونی یابد، میزان رواناب زیاد می‌شود، زیرا تجمع آب در ناهمواری‌های سطحی رابطه نزدیک با شیب آبخیز داشته و با افزایش آن تقلیل می‌یابد (پارتا ۲۰۱۱) و در نتیجه دبی اوج هیدروگراف تیزتر می‌شود. ویژگی‌های خاک به ویژه نفوذپذیری خاک عامل مهم مؤثر بر رواناب است. به طور کلی رواناب در شرایط غیراشباع خاک هنگامی شکل می‌گیرد که شدت باران بر سرعت نفوذ آب به خاک غلبه کند (سویانی ۲۰۱۱). مطالعاتی که در مناطق نیمه خشک مدیترانه‌ای اسپانیا روی فرآیند تولید رواناب در حوزه‌های آبخیز کوچک انجام گرفت، نشان داد که خاک‌های ریزبافت با نفوذپذیری پایین و مواد آلی کم، ضریب رواناب بالاتر و آستانه شروع رواناب کمتری نسبت به خاک‌های درشت بافت دارند. ویژگی‌های باران نقشی مهم در تولید رواناب دارد. با افزایش شدت بارندگی، نفوذپذیری خاک در زمان کوتاهی افت کرده و در نتیجه رواناب سریع‌تر رخ می‌دهد و از این رو تولید رواناب نیز بیش‌تر می‌باشد. مطالعه روی اثر بارندگی بر وقوع سیل در حوزه‌های آبخیز نشان داد که بیش‌ترین

داخلی قرار می‌گیرد. عوامل خارجی بیانگر نقش متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی و درجه حرارت بر وقوع رواناب در سطح حوزه‌های آبخیز هستند. عوامل داخلی نیز بیانگر نقش خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز (مساحت، شیب، تراکم آبراهه خاک، پوشش گیاهی و کاربری زمین) در تولید رواناب هستند. به هر حال وجود برهم‌کنش بین عوامل مذکور موجب می‌شود، بررسی دقیق نقش هر عامل در تولید رواناب در حوزه‌ی آبخیز کاری دشوار باشد. انجام چنین مطالعاتی می‌تواند نقش خصوصیات حوزه‌ی آبخیز را در تولید رواناب نمایان سازد و به این ترتیب امکان پیش‌بینی خطر سیل را در حوزه آبخیز فراهم آورد. مطالعه‌ای دقیق در مورد نقش عوامل فیزیکی حوزه آبخیز بر ضریب رواناب آن در منطقه نیمه‌خشک وجود ندارد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی عوامل تعیین‌کننده تغییرات ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز واقع در استان اردبیل انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

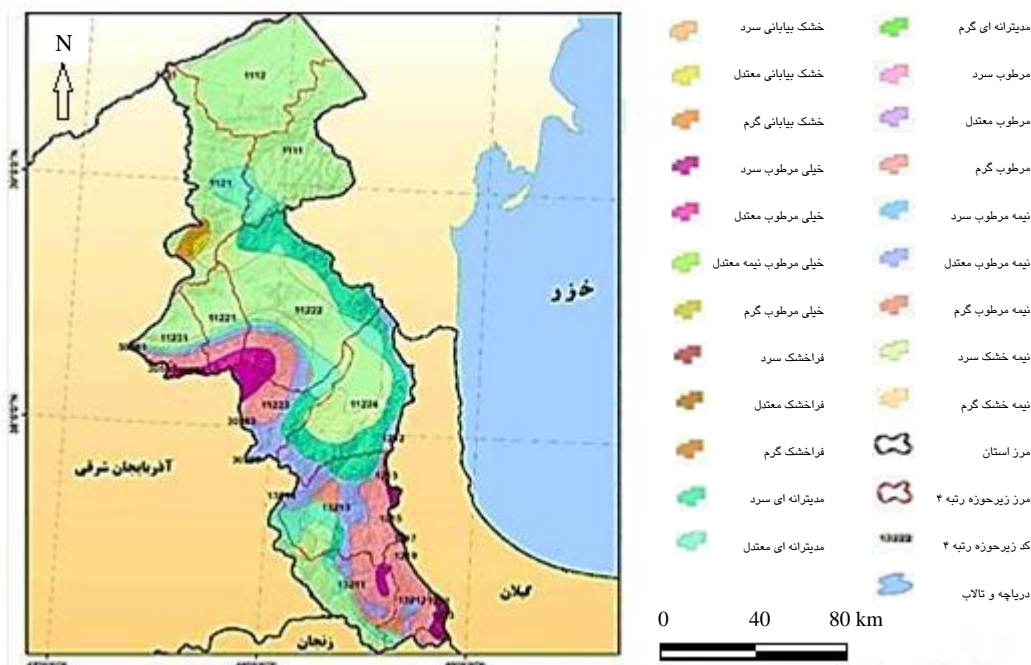
منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی حوزه‌های آبخیز رده چهار استان اردبیل واقع در محدوده جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی بود (بی‌نام ۱۳۸۶). شکل ۱ نقشه اقلیم حوزه‌های آبخیز مورد بررسی را نشان می‌دهد. با توجه به متوسط بارندگی سالانه (۲۴۰ میلی‌متر) و تغییرات دمای هوا (بین ۷/۹ و ۱۵/۲ درجه سلسیوس) منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک است (بی‌نام ۱۳۸۸). توزیع دمای هوا متناسب با توپوگرافی و سایر ویژگی‌های طبیعی آن است. نواحی پست واقع در دره رودخانه ارس و دشت مغان گرم‌ترین و ارتفاعات سبلان سردترین مناطق می‌باشند. در فصل‌های سرد منطقه تحت تأثیر توده‌ی هوای ورودی از شمال و شمال‌غرب قرار می‌گیرد. در فصل تابستان نیز گاهی توده‌های کم فشار باران‌زا رخ می‌دهد. بخش‌هایی از استان تحت تأثیر اقلیم خزری قرار دارد (بی‌نام ۱۳۸۸). پوشش گیاهی به‌صورت استپی

رواناب افزایش یافت (سریونگسیتانوف و تاسومبات ۲۰۱۱). مو و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعات خود در مورد نقش پوشش گیاهی در مهار رواناب به این نتیجه رسیدند در شرایطی که میزان پوشش گیاهی زیاد و شیب منطقه کم بود، در زمان‌های وقوع بارندگی‌های زیاد شد، وقوع رواناب دچار تأخیر شده و مقدار آن بسیار پایین بود. از بین بردن پوشش گیاهی و یا تغییر در نوع و نحوه کشت گیاهانی که برگاب زیادی ندارند، سبب افزایش بده سیلاب می‌شود. چرای بیش از اندازه دام سبب فشردگی خاک و از بین رفتن پوشش گیاهی و افزایش هدررفت آب از حوزه آبخیز می‌شود (تران و ملیندا ۲۰۱۳). کاهش تراکم پوشش گیاهی از طریق تغییر کاربری زمین، چرای بی‌رویه یا قطع درختان به‌عنوان تهدیدی جدی در افزایش رواناب در حوزه‌های آبخیز می‌باشد (فنگ و همکاران ۲۰۱۵). حذف پوشش گیاهی منجر به کاهش مقاومت خاک در برابر رواناب‌های سطحی شده و در نتیجه عملکرد رسوب به‌ویژه در حوزه‌های آبخیز با شیب زیاد افزایش می‌یابد (برندز و همکاران ۲۰۱۵). بررسی‌ها در کشتزارهای گندم در چین نشان داد که هر قدر میزان بقایای مواد آلی خاک با حفظ مالچ و اصلاح روش شخم افزایش یابد اثر بیشتری در کاهش میزان ضریب رواناب دارد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۶). مطالعات در مورد اثر عوامل محیطی، توپوگرافی و خاک بر روی میزان ضریب رواناب در مراتع زنجان نشان داد که مقدار رس، مواد آلی و درصد گچ خاک مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده ضریب رواناب در مراتع هستند (محمدی ۲۰۱۶). بررسی‌ها در حوزه آبخیز کاخک در گناباد استان خراسان رضوی نشان داد که پوشش گیاهی در شیب‌های تند بیشترین اثر را در کاهش رواناب و رسوب دارد (عشقی‌زاده و همکاران ۲۰۱۶). پژوهش‌ها در زمینه عوامل موثر بر ضریب رواناب در مراتع ساحلی حوزه چینگهای فلات تبت نشان داد که ارتفاع بارش و بیشینه بارش ۱۰ دقیقه‌ای مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ضریب رواناب هستند. به‌طور کلی پژوهش‌های انجام گرفته در سراسر دنیا مؤید این است که تولید رواناب در حوزه آبخیز تحت تأثیر عوامل متعددی شامل عوامل خارجی و عوامل

بوده و در شمال غرب آن پوشش نیمه جنگلی نیز مشاهده می‌شود. خاک‌ها اغلب در گروه لیتوسل نیمه-مرطوب قرار دارند (بی‌نام ۱۳۸۶). تعداد ۱۳۷ رود دائمی

و فصلی با مجموع ۳۴۰۰ کیلومتر وجود دارد. این رودها در سه حوزه آبخیز ارس، بالهارود و قزل‌اوزن جریان دارد (بی‌نام ۱۳۸۸).



شکل ۱- نقشه اقلیم حوزه‌های آبخیز رده چهار در استان اردبیل (بی‌نام ۱۳۹۴).

استخراج شد. همچنین، محیط و مساحت زیرحوزه‌های آبخیز نیز از Polygon آن‌ها به دست آمد. برای محاسبه شیب، نقشه شیب در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. با استفاده از نقشه‌ها و جداول آن‌ها شیب کلیه زیرحوزه‌های آبخیز محاسبه شد (بی‌نام ۱۳۹۴).

تعیین بارندگی ماهانه در حوزه‌های آبخیز
داده‌های بارندگی (شامل کل اشکال بارش‌های آسمانی) مربوط به دوره آماری ۲۰ ساله (از ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴) از ایستگاه‌های باران‌سنجی متعلق به شرکت منابع آب وابسته به وزارت نیرو تهیه گردید. برای محاسبه متوسط بارندگی ماهانه برای حوزه‌های آبخیز، پس از حذف ایستگاه‌هایی که آمار کافی نداشتند و امکان بهره‌برداری از اطلاعات آن‌ها فراهم نبود، بارندگی متوسط ماهانه حوزه‌های آبخیز به دست آمد. در حوزه‌های آبخیزی که فاقد ایستگاه بودند، رابطه بین بارندگی متوسط ماهانه و ارتفاع متوسط حوزه‌های آبخیز برقرار شد و با قرار دادن ارتفاع حوزه‌های آبخیز فاقد آمار،

انتخاب حوزه‌های آبخیز

یکی از معیارهای مهم در بررسی رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز، رده آبراهه در نقطه خروجی است (موریر و همکاران ۲۰۰۸). این شاخص بیانگر درجه تکامل شبکه آبراهه‌ای می‌باشد و در مقایسه حوزه‌های آبخیز از نظر شدت و زمان تخلیه رواناب‌های سطحی حائز اهمیت است (مهدوی ۱۳۹۴). برای رفع تفاوت حوزه‌های آبخیز از این دیدگاه، سعی شد. حوزه‌های آبخیز دارای رده مشابه مورد مطالعه قرار بگیرد. در این راستا در سطح استان یازده حوزه آبخیز رده چهار انتخاب شد. این حوزه‌های آبخیز شامل حوزه آبخیز بلجاردچای، پایاب ارس، ارس میانی، پایاب دره‌رود، تالش شمالی، گرگان‌رود، ناورود، دیناچال، شفارود، شاندرمن و ماسال هستند (شکل ۱).

تعیین مشخصات حوزه‌های آبخیز

اطلاعات مربوط به ارتفاع زیرحوزه‌های آبخیز شامل متوسط و بیش‌ترین ارتفاع و همچنین سایر پارامترهای مربوط به این بخش از نقشه‌ی رقومی ارتفاع (DEM)

مقایسه میانگین بین ضرایب رواناب در ماه‌های مختلف به روش آزمون دانکن تعیین شد. از روش ماتریس همبستگی (گراوتر و وانایو ۲۰۰۴) برای تعیین رابطه بین ضریب رواناب و مشخصات حوزه‌ی آبخیز استفاده شد. برای انجام تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS22 استفاده شد.

نتایج و بحث

مشخصات فیزیکی حوزه‌های آبخیز

جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز را نشان می‌دهد. حوزه آبخیز پایاب دره رود بزرگترین حوزه آبخیز (۲۱۸۴/۰۸ کیلومتر مربع) و حوزه آبخیز دیناچال کوچکترین حوزه‌ی آبخیز (۲۵۷/۴ کیلومتر مربع) در منطقه است. محیط حوزه‌های آبخیز از ۱۰۱/۳۹ تا ۲۵۰/۹۹ کیلومتر متغیر است. تراکم آبراه‌های از ۰/۳ تا ۰/۷ کیلومتر در کیلومتر مربع متغیر است. شیب حوزه‌های آبخیز از ۱۶/۲۵ تا ۳۳/۳ درصد تغییر می‌کند. بیشترین تغییرات (CV) ویژگی‌های حوزه آبخیز، از نظر مساحت (۷۵ درصد) و کمترین آن از نظر ضریب گراولیس (۱۳ درصد) می‌باشد.

بارندگی متوسط آن‌ها به‌دست آمد (پرهمت و رحیمی بندرآبادی ۱۳۸۷).

تعیین رواناب ماهانه در حوزه‌های آبخیز

داده‌های رواناب روزانه مربوط به رخدادهای بارندگی در دوره مطالعاتی ۲۰ ساله (از ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴)، از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری متعلق به شرکت مدیریت منابع آب اخذ شد. بر اساس آمار روزانه، رواناب ماهانه محاسبه شد. آمار بارندگی مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴ استخراج شد (اسلامی و ثقفیان ۱۳۸۷). مقدار ضریب رواناب نیز از نسبت ارتفاع رواناب و ارتفاع بارندگی مربوطه به‌دست آمد. ضریب شکل حوزه آبخیز از نسبت مربع طول حوض آبخیز به مساحت حوزه آن به‌دست آمد (هورتون ۱۹۳۲). ضریب گراولیس، که بیانگر نسبت محیط حوض آبخیز به محیط دایره هم-سطح آن می‌باشد، تعیین شد (استرالر ۱۹۶۴). درجه تراکم آبراه از نسبت مجموع طول آبراه‌های حوزه آبخیز (کیلومتر) به مساحت حوزه آبخیز (کیلومتر مربع) به‌دست آمد (هورتون ۱۹۳۲).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

با استفاده از آماره‌های ضریب چولگی و کشیدگی، آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها انجام گرفت. سپس

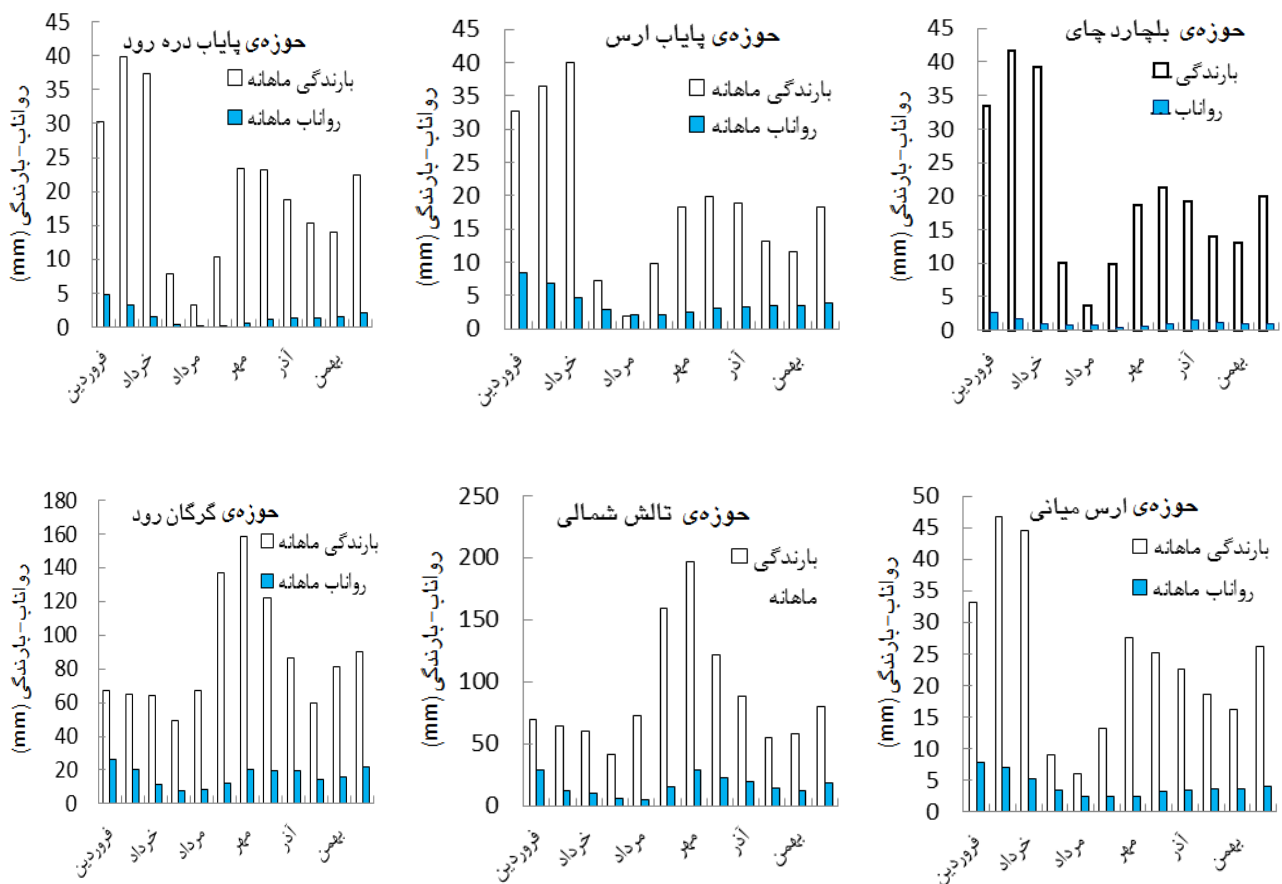
جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز استان اردبیل، شمال غرب ایران.

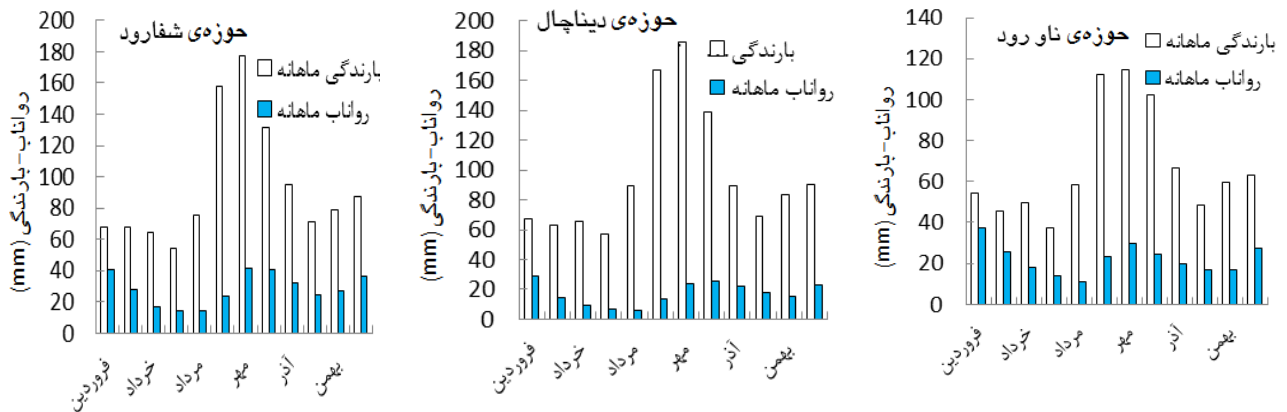
حوزه آبخیز	ارتفاع (m)	محیط (Km)	ضریب گراولیس	ضریب شکل	تراکم آبراه‌ای (Km Km ²)	طول آبراه (Km)	مساحت (Km ²)	شیب متوسط (%)
بلجارد چای	۲۱۵۰/۲	۲۴۴/۹	۱/۵	۳۲۷/۱	۰/۴	۸۱۶/۵	۲۰۳۷/۹	۳۳/۳
پایاب ارس	۲۰۸۵/۱	۱۴۱/۱	۱/۳	۱۶۹/۸	۰/۴	۳۹۵/۱	۹۱۸/۸	۱۹/۳
پایاب دره رود	۱۹۸۵/۱	۲۵۰/۹	۱/۵	۳۳۳/۶	۰/۴	۸۵۳/۶	۲۱۸۴/۱	۱۷/۲
ارس میانی	۱۰۴۹/۱	۲۰۷/۸	۱/۶	۲۸۶/۰	۰/۵	۶۰۳/۳	۱۲۷۲/۷	۱۶/۵
تالش شمالی	۱۳۴۴/۳	۱۸۲/۸	۱/۲	۱۹۹/۹	۰/۳	۵۹۹/۷	۱۷۹۹/۱	۳۲/۸
گرگان رود	۱۴۱۹/۴	۱۲۴/۳	۱/۴	۱۵۵/۶	۰/۵	۳۱۸/۶	۶۵۲/۲	۲۴/۳
ناو رود	۱۲۷۷/۳	۱۰۳/۸	۱/۶	۱۴۰/۳	۰/۶	۲۲۰/۶	۳۴۶/۹	۲۲/۳
دیناچال	۱۲۱۵/۹	۱۰۱/۴	۱/۸	۱۳۴/۴	۰/۷	۲۳۴/۱	۲۵۷/۴	۱۶/۲
شفارود	۱۲۶۹/۸	۱۱۴/۸	۱/۶	۱۵۸/۶	۰/۶	۲۴۵/۵	۳۸۰/۲	۱۸/۷
شاندرمن	۱۲۳۴/۲	۱۴۶/۰	۱/۹	۲۰۹/۱	۰/۷	۳۱۸/۰	۴۸۶/۷	۲۱/۰۳
ماسال	۱۰۹۹/۱	۱۱۲/۵	۱/۷	۱۵۸/۴	۰/۷	۲۳۵/۷	۲۵۰/۶	۲۴/۰
ضریب تغییرات (%)	۲۹	۳۵	۱۳	۳۵	۲۷	۵۴	۷۵	۲۷

بارندگی و رواناب در حوزه‌های آبخیز (P<0/001)، رواناب (P<0/01) و ضریب رواناب (P<0/05) وجود دارد (جدول ۲). بررسی مقایسات میانگین در اغلب حوزه‌های آبخیز نشان می‌دهد که ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، شهریور، آبان، آذر، اسفند و بهمن دارای اختلاف معنی‌دار از نظر مقدار مقدار بارندگی نیستند (شکل ۳). بیشترین رواناب ماهانه در حوزه آبخیز سفارود مشاهده شد که مقدار آن در فروردین ماه ۴۰/۷ میلی‌متر بود. کمترین رواناب ماهانه نیز در حوزه آبخیز پایاب دره‌رود و مربوط به ماه مرداد (۰/۱۳ میلی‌متر) بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها در اغلب حوزه‌های آبخیز نشان می‌دهد که ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور، مهر، آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند دارای اختلاف معنی‌دار از نظر مقدار رواناب نیستند (شکل ۳).

بارندگی و رواناب در حوزه‌های آبخیز

هیستوگرام مقادیر متوسط ماهانه بارندگی و رواناب در حوزه‌های آبخیز در شکل ۲ آورده شده است. بیشترین مقدار بارندگی طی دوره ۲۰ ساله در ماه مهر با میانگین ۱۹۶/۵۳ میلی‌متر در حوزه آبخیز تالش شمالی و کمترین آن در ماه مرداد با میانگین ۱/۹۶ میلی‌متر در حوزه آبخیز پایاب ارس می‌باشد. بیشترین میانگین بارندگی در اغلب حوزه‌های آبخیز (تالش شمالی، گرگان‌رود، ناورود، دیناچال، سفارود، شاندرمن و ماسال) در مهر ماه می‌باشد. بیشترین مقدار بارندگی در حوزه‌های آبخیز ارس میانی، پایاب دره‌رود و بلچاردچای در اردیبهشت ماه و در حوزه آبخیز پایاب ارس در خرداد ماه است. حوزه آبخیز ناورود دارای بیشترین مقدار رواناب ماهانه در فروردین ماه می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ماه‌های مختلف سال تفاوتی معنی‌دار از نظر مقدار بارندگی





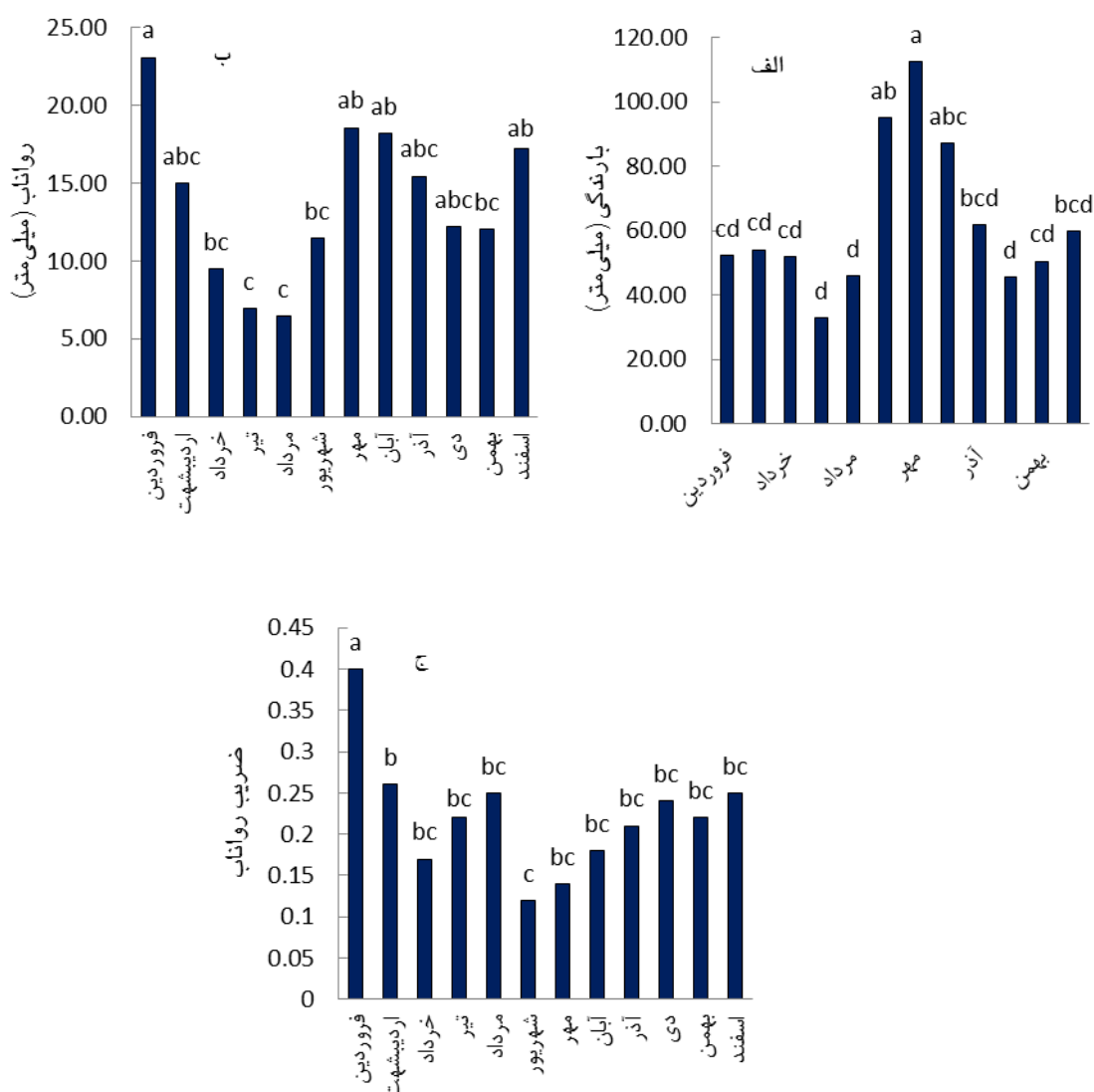
شکل ۲- هیستوگرام مقادیر متوسط ماهانه بارندگی و رواناب در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴.

جدول ۲- تجزیه واریانس تغییرات ماهانه بارندگی، رواناب و ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل طی دوره بیست ساله (از ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴).

سطح معنی داری	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	بارندگی
<۰/۰۰۰	۳/۸۷	۶۰۴۶/۰۰	۱۱	۶۶۵۰۶/۰۳	باران
<۰/۰۰۶	۲/۵۶	۲۷۴/۷۲	۱۱	۳۰۲۱/۹۸	رواناب
<۰/۰۲۰	۲/۸۸	۰/۰۵	۱۱	۰/۶۳	ضریب رواناب

تغییرات ماهانه ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز به‌طور کلی بالا بودن مقدار رواناب در حوزه آبخیز نمی‌تواند خطر وقوع سیل در آن حوزه آبخیز را به تنهایی توجیه کند. بلکه ضریب رواناب به‌عنوان شاخصی دقیق‌تر برای بیان احتمال خطر سیل مورد بررسی قرار گرفت. محققان معتقدند که عوامل مورفومتری بر ضریب رواناب و تولید جریان سیلاب نقش دارند (اسلامی و ثقفیان ۱۳۸۷). بررسی تغییرات زمانی ضریب رواناب در ابعاد ماهانه نشان داد که در اغلب حوزه‌های آبخیز (بیش از ۷۲ درصد)، بیش‌ترین مقدار ضریب رواناب ماهانه مربوط به فروردین می‌باشد (شکل ۳).

تولید رواناب در ماه‌های سال به نوع بارش‌های آسمانی (باران، برف و تگرگ) نیز وابسته است. در ماه‌های آخر پاییز (آذر) و زمستان اغلب بارش‌های آسمانی در منطقه به صورت برف می‌باشد. از آنجا که چرخه هیدرولوژیکی برف (ذوب و تبخیر) به‌دلیل دمای پایین طی این ماه‌ها بسیار کند می‌باشد (مهدوی ۱۳۹۴)، تولید رواناب در این ماه‌ها به‌ویژه در دی و بهمن کم‌تر از ماه‌های ابتدایی فصل بهار و پاییز بود.



شکل ۳- مقایسه میانگین‌ها بین ماه‌های سال در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل طی دوره بیست ساله (از ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴) از نظر (الف) بارندگی، (ب) رواناب و (ج) ضریب رواناب.

نتایج به دست آمده با یافته‌های سایر محققان مطابقت دارد (سویانی ۲۰۱۱، مرز و همکاران ۲۰۰۶). میزان افزایش پوشش گیاهی از فروردین ماه به شهریور ماه یکی از دلایل مهم برای کاهش میزان رواناب در این حوزه‌های آبخیز است. وقوع بارندگی‌های با فواصل طولانی و شدت پایین‌تر در تابستان نسبت به بهار نیز از دلایلی است که باعث کاهش سرعت رواناب در این دوره زمانی از سال شده و تولید رواناب در واحد سطح و در نتیجه ضریب رواناب کاهش می‌یابد (تران و ملیندا ۲۰۱۳). از بین حوزه‌های آبخیز بلجاره چای، پایاب ارس

در این حوزه‌های آبخیز، مقدار ضریب رواناب از فروردین تا شهریور کاهش می‌یابد. در اغلب حوزه‌های آبخیز بین ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، مهر، آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند، اختلافی معنی‌دار از نظر ضریب رواناب وجود ندارد. در سایر حوزه‌های آبخیز (حوزه آبخیز بلجاره چای، حوزه آبخیز پایاب ارس و حوزه آبخیز ارس میانی)، بیشترین میزان ضریب رواناب ماهانه در مرداد ماه قرار دارد. در بین این حوزه‌های آبخیز، بیشترین ضریب رواناب مرداد ماه در حوزه آبخیز پایاب ارس (۹۰ درصد) مشاهده می‌شود. این

رابطه بین رواناب و بارندگی در حوزه‌های آبخیز

بررسی روابط بین بارندگی و رواناب در حوزه‌های آبخیز نشان داد که رابطه معنی‌دار بین رواناب و بارندگی در حوزه‌های آبخیز پایاب ارس ($p < 0.01$) و بلجاردچای ($R^2 = 0.60$ ، $p < 0.05$)، پایاب دره‌رود ($R^2 = 0.48$ و $p < 0.05$)، ارس میانی ($R^2 = 0.39$ و $p < 0.05$)، تالش شمالی ($R^2 = 0.55$ و $p < 0.05$) وجود دارد (جدول ۳).

و ارس میانی، بالاترین مقدار ضریب رواناب ماهانه در مرداد ماه، مربوط به حوزه آبخیز پایاب ارس است. چنانچه این حوزه آبخیز تحت تأثیر کاربری نامناسب زمین و کاهش تراکم پوشش گیاهی قرار گیرد، با توجه به جدول ۱ که طول آبراهه آن نیز نسبتاً پایین می‌باشد (۳۹۵/۰۳ کیلومتر)، احتمال وقوع سیل در این حوزه آبخیز افزایش می‌یابد (شریفی و همکاران ۱۳۷۵، ونگ و و ۲۰۱۲). بنابراین، باید شرایطی برای عملیات مربوط به مهار سیلاب در این ماه با توجه به میانگین بیست ساله بارندگی و رواناب حوزه آبخیز اتخاذ شود.

جدول ۳- رابطه بین رواناب و بارندگی ماهانه طی دوره ۲۰ ساله (سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴) در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل.

نام حوزه آبخیز	تابع ریاضی (Y: رواناب و X: بارندگی)	ضریب تبیین (R ^۲)	سطح معنی‌داری (p value)
بلجاردچای	$Y = 0.315x + 0.4648$	۰/۳۹	$p < 0.05$
پایاب ارس	$Y = 0.126x + 1.5132$	۰/۶۰	$p < 0.01$
پایاب دره رود	$Y = 0.0818x + 0.1725$	۰/۴۸	$p < 0.05$
ارس میانی	$Y = 0.10265x + 1.5761$	۰/۵۵	$p < 0.01$
تالش شمالی	$Y = 0.0998x + 7.2296$	۰/۳۶	$p < 0.05$
گرگان رود	$Y = 0.456x + 12.543$	۰/۰۷	-
ناورود	$Y = 0.0977x + 15.491$	۰/۱۲	-
دیناچال	$Y = 0.0548x + 11.897$	۰/۱۰	-
شفارود	$Y = 0.1221x + 0.16802$	۰/۲۳	-
شاندرمن	$Y = 0.0375x + 14.799$	۰/۰۴	-
ماسال	$Y = 0.1259x + 13.07$	۰/۲۷	-

عنوان عواملی هستند که می‌توانند شدت تولید رواناب را افزایش دهند. با توجه به شرایط فیزیکی این حوزه‌های آبخیز، کاهش تراکم پوشش گیاهی از طریق تغییر کاربری زمین، چرای بی‌رویه یا قطع درختان به‌عنوان تهدیدی جدی در افزایش تولید رواناب می‌باشد (فنگ و همکاران ۲۰۱۵). واعظی (۲۰۱۴) نشان داد که مقدار تولید رواناب در کشتزارهای دیم را می‌توان براساس خصوصیات باران و ویژگی‌های خاک کمی نمود. مو و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند در شرایطی که میزان پوشش گیاهی زیاد و شیب منطقه کم بود در زمان‌های وقوع بارندگی‌های زیاد، وقوع رواناب دچار تأخیر شده و مقدار آن بسیار پایین بود.

ضعف پوشش گیاهی می‌تواند یکی از دلایل مهم افزایش مقدار رواناب همگام با افزایش مقدار بارندگی در حوزه‌های آبخیز باشد. در سایر حوزه‌ها رابطه‌ی معنی‌داری بین رواناب و بارندگی مشاهده نشد. این موضوع می‌تواند به دلیل تأثیر بارندگی ماه‌های نزدیک به ماه مورد بررسی بر رواناب آن ماه معین باشد. به‌طور کلی رابطه بین بارندگی و رواناب به عوامل متعددی از قبیل مشخصات بارش، ویژگی‌های خاک، رطوبت پیشین خاک در حوزه آبخیز و شیب حوزه بستگی دارد. در حوزه‌هایی که رابطه‌ی قوی بین رواناب و بارندگی وجود دارد، افزایش مقدار و شدت بارش‌های آسمانی از یک سو و کاهش فواصل بارش‌ها از سوی دیگر به-

کشیده‌تر و طولی‌تر باشد، دبی اوج رواناب کاهش می‌یابد و بنابراین میزان ضریب رواناب کاهش می‌یابد (پارتا، ۲۰۱۱). ضریب رواناب همچنین تحت تأثیر منفی طول آبراهه اصلی (رودخانه) قرار گرفت ($p < 0/01$) و $t = -0/83$ هر اندازه که طول آبراهه اصلی طولانی‌تر باشد و در این مسیر میزان زبری سطحی و پوشش گیاهی بیشتر باشد، فرصت نفوذ آب در خاک افزایش یافته و مقدار رواناب و ضریب رواناب کاهش می‌یابد (ال-حسن و متار ۲۰۱۳). بر اساس نتایج، همبستگی مثبت معنی‌داری بین ضریب شکل و طول آبراهه وجود داشت ($p < 0/01$ و $t = 0/90$). در واقع در حوزه‌های آبخیز که طول آبراهه بیشتر می‌باشد، علت آن به بالا بودن ضریب شکل حوزه آبخیز مرتبط می‌باشد (لاجویی و همکاران ۲۰۰۷). از این رو در این حوزه‌های آبخیز، احتمال خطر سیل بیشتری در مقایسه با حوزه‌های آبخیزی که دارای طول آبراهه بیشتری می‌باشند بالاتر است. بالاترین مقدار ضریب رواناب سالانه مربوط به حوزه آبخیز پایاب ارس با مقدار $0/85$ است. این حوزه آبخیز دارای طول آبراهه ($295/03$ کیلومتر) نسبتاً کوچکی در مقایسه با اغلب حوزه‌های آبخیز مورد بررسی می‌باشد.

پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهند زمانی که مقیاس بررسی رابطه بین رواناب و بارندگی از رخداد به دوره زمانی طولانی مانند روزانه یا ماهانه و فصلی تغییر می‌یابد، ارائه رابطه قوی بین رواناب و بارندگی محتمل نیست (حاتمی‌یزدی و قهرمان ۱۳۸۶، وردیان و همکاران ۱۳۹۳). تغییر فرساینده‌گی باران‌ها طی دوره‌های آماری بلند، تغییر پوشش گیاهی و محتوای رطوبتی خاک از جمله عوامل هستند که دستیابی به روابط قوی را غیرممکن می‌سازند.

رابطه‌ی بین ضریب رواناب و مشخصات حوزه آبخیز بررسی همبستگی بین ضریب رواناب و مشخصات حوزه‌های آبخیز نشان داد که همبستگی منفی معنی‌دار بین ضریب رواناب سالانه و مساحت حوزه آبخیز وجود دارد ($p < 0/01$ و $t = -0/80$) (جدول ۴). مطالعات انجام شده توسط جرگاو و لوزانوا (۲۰۰۵) نیز نشان می‌دهد که هر قدر مساحت حوزه آبخیز کاهش یابد، امکان نفوذ آب در خاک کاهش و در نتیجه ضریب رواناب حوزه آبخیز افزایش می‌یابد. همبستگی منفی معنی‌دار بین ضریب رواناب و ضریب شکل مشاهده شد ($p < 0/01$ و $t = -0/82$). شکل حوزه آبخیز بر ضریب رواناب تأثیر دارد. به طوری که هر چه شکل حوزه آبخیز

جدول ۴- ماتریس همبستگی بین ضریب رواناب و مشخصات فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز منتخب در استان اردبیل.

ضریب رواناب	درصد شیب	مساحت	طول آبراهه	تراکم آبراهه‌ای	ضریب شکل	ضریب گراویلیوس	حداکثر ارتفاع
ضریب رواناب							
درصد شیب	۱						
مساحت	-۰/۲۴	۱					
طول آبراهه	-۰/۸۰**	۰/۴۱	۱				
تراکم آبراهه	-۰/۸۳**	۰/۳۲	۰/۹۸**	۱			
ضریب شکل	۰/۵۶	-۰/۴۶	-۰/۸۸**	-۰/۸۳**	۱		
ضریب گراویلیوس	-۰/۸۲**	۰/۱۴	۰/۸۶**	۰/۹۴**	-۰/۶۲*	۱	
بیشینه ارتفاع	۰/۱۲	-۰/۴۷	-۰/۵۱	-۰/۳۸	۰/۸۱**	-۰/۰۵	۱
	-۰/۰۴	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۲۶	-۰/۶۲*	۰/۰۵	-۰/۷۶**

نتیجه‌گیری کلی

تغییراتی معنی‌دار بین ماه‌های سال از نظر مقدار بارندگی، رواناب و ضریب رواناب در حوزه‌های آبخیز

رده چهار وجود دارد. در بیش از ۷۰ درصد حوزه‌های آبخیز، بیش‌ترین مقدار ضریب رواناب در ماه فروردین مشاهده شد. مقدار ضریب رواناب از فروردین به

رواناب در چنین حوزه‌های آبخیزی است. به‌طور کلی این پژوهش نشان می‌دهد که در منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی، بیش‌ترین خطر پتانسیل تولید سیل مربوط به زیرحوزه‌های آبخیز دارای سطح کوچک با شکل غیرکشیده در اوایل بهار می‌باشد. از این رو، حفظ پوشش گیاهی به‌ویژه در اوایل بهار حائز اهمیت است. در کنار این، اجرای عملیات حفاظت خاک برای کاهش تولید رواناب و فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز ضروری است. انجام بررسی‌های دقیق‌تر از نظر تغییرات درصد پوشش گیاهی طی ماه‌های سال و تعیین مشخصات دقیق‌تر باران (شدت و مدت بارندگی) در ماه‌های سال همراه با بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی خاک (نفوذپذیری خاک) برای پیش‌بینی دقیق‌تر حوزه‌های آبخیز دارای پتانسیل بالای تولید سیل و محتمل‌ترین ماه وقوع سیلاب ضروری است.

شهریور کاهش می‌یابد. وجود بارش‌های آسمانی زیاد از یک سو و کاهش فواصل رخدادهای بارندگی از سوی دیگر در کنار تراکم ضعیف پوشش گیاهی به‌عنوان عواملی هستند که می‌توانند شدت تولید رواناب در اوایل بهار را افزایش دهند. این عوامل از جمله ویژگی‌های حوزه‌های آبخیز واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در برخی از حوزه‌های آبخیز مقدار تولید رواناب، رابطه‌ای معنی‌دار با مقدار بارندگی دارد. این نتیجه می‌تواند به دلیل ضعف پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز باشد. بین ضریب رواناب حوزه آبخیز با مساحت حوزه آبخیز، طول آبراهه و ضریب شکل همبستگی منفی وجود دارد. حوزه‌های آبخیز بزرگ‌تر، دارای شکلی کشیده‌تر و طول آبراهه اصلی بزرگ‌تری هستند. با این وجود تراکم آبراهه‌ای در آن‌ها پایین‌تر است. افزایش طول آبراهه یکی از دلایل کاهش ضریب

منابع مورد استفاده

- Abdel-Lattif A, Al-Shamrani M, 2013. A comparison of methods for estimating the mean annual runoff coefficient at ungauged stream in southwestern region, Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Science and Toxicology Research* 1(1): 12–20.
- Al-Hasan A, Mattar Y, 2013. Mean runoff coefficient estimation for ungauged streams in the Kingdom of Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences* 7: 4387–4398.
- Anonymous, 2007. Ardebil province at a glance, Jihad Agricultural Organization of Ardabil Province.
- Anonymous, 2009. Summary of climate, climate, water resources of Ardabil province. General Directorate for Economic Studies and Research, Ardabil, Iran.
- Anonymous, 2015. Providing map of the streams and rivers of the provinces, Jihad Agriculture Organization of Ardabil province.
- Berendse F, van Ruijven J, Jongejans E, Keesstra SD, 2015. Loss of plant species diversity reduces soil erosion resistance of embankments that are crucial for the safety of human societies in low-lying areas. *Ecosystems* 18: 881–888.
- Casermeyro MA, Molina JA, Delacruz Caravaca MT, Hernando Massanet, MI, Moreno PS, 2004. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. *Catena* 57: 97–107.
- Eshghizadeh A, Talebi A, Dastorani MT, Azimzadeh HR, 2016. Effect of natural land covers on runoff and soil loss at the hillslope scale. *Global Journal of Environmental Science and Management* 2: 125–134.
- Eslami A.R, Saghafian B, 2011. The role of Watershed morphometric and climatic factors In producing of flood flows. *Journal of Research and Construction* 78: 149–153.
- Essien OE, Okon EG, 2011. Rainfall characteristics, runoff rate and traffic flow on gully morphometric parameter growth and soil loss in sand-mined peri-urban, Uyo, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research* 3(7): 180–187.
- Feng Q, Guo X, Zhao W, Qiu Y, Zhang X, 2015. A comparative analysis of runoff and soil loss characteristics between “Extreme Precipitation Year” and “Normal Precipitation Year” at the plot scale: A case study in the Loess Plateau in China. *Water* 7: 3343–3366.
- Gravetter F, Wallnau L, 2004. *Statistics for the Behavioral Sciences: A short Course and Student Manual*. Lanham, MD: University Press of America. New York. Oxford.
- Hatami Yazdi A, Qahraman B, 2010. Investigation and generalization of rainfall-monthly and annual runoffs to non-statistical areas. Case study: Nahreine and Kareed watershed in Tabas area, Yazd province. *Agricultural Science Journal* 30(4): 1–15.

- Horton RE, 1932. Drainage basin characteristics, Transactions, American Geophysical Union 13: 350–361.
- Kelarestaghi A, Ahmadi H, Esmali A, Jafari M, Ghodosi J, 2011. Comparison of runoff and sediment yield from different agricultural treatments. *Iran Watershed Science and Engineering* 2(5): 41–52.
- Lajoie F, Assani AA, André RG, Mesfioui M, 2007. Impacts of dams on monthly flow characteristics. The influence of watershed size and seasons. *Journal of Hydrology* 334: 423–439.
- Mahdavi M, 2015. *Applied Hydrology*, Volume 2, Fourth Edition, Tehran University Press. 437 pages.
- Marques MJ, Bienes R, Jimenez L, Perez-Rodriguez R, 2007. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE Plots. *Science of the Total Environment* 378: 161–165.
- Martinez M, 1998. Factors influencing surface runoff generation in a Mediterranean semi-arid environment: Chicamo Watershed Spain. *Hydrological Processes* 12(5): 741–745.
- Medina N, Sanchez A, Vojinovic Z, 2015. Automated runoff coefficient computation in urban drainage systems using google satellite images and fuzzy classification. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress .28 June – 3 July. The Hague, the Netherlands.
- Merz R, Blöschl G, Parajka J, 2006. Spatio-temporal variability of event runoff coefficients. *Journal of Hydrology* 331: 591–604.
- Mohamadi S, 2016. Studying the relationship between environmental factors, runoff characteristics and infiltration depth using rainfall simulator in northwestern rangelands of Iran. *Journal of Rangeland Science* 6: 205–220.
- Mourier B, Walter C, Merot P, 2008. Soil distribution in valleys according to stream order. *Catena* 72: 395–404.
- 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: 2990–3008.
- Olang O, Furst J, 2011. Effects of land cover change on flood peak discharges and runoff volumes: model estimates for the Nyando River Watershed, Kenya. *Hydrological Processes* 25: 80–89.
- Pareta K, 2011. Geo-Environmental and Geo-Hydrological study of rajghat dam, Sagar (Madhya Pradesh) using remote sensing techniques. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 2(8): 1-8.
- Porhemmat J, Rahimi Bandar Abadi S, 2011. Investigating the effect of regional homogenization and aata reconstruction on spatial distribution of annual rainfall (Case Study: Southwest of Iran), *Iran Watershed Science and Engineering*. 2(4):56–65.
- Sharifi M, Refahi HQ, Moez-Ardalan M, 1999. Estimation of runoff coefficient of rainfall in Kasilian watershed. *Journal of Agricultural Science of Iran* 27(3): 63–79.
- Strahler AN, 1964. Quantitative geomorphology. *Handbook of Applied Hydrology*, New York, USA 3: 232.
- Sriwongsitanon N, Taesombat W, 2011. Effects of land cover on runoff coefficient. *Journal of Hydrology* 410: 226–238.
- Subyani M, 2011. Hydrologic behavior and flood probability for selected arid watersheds in Makkah area, western Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences* 4(5): 817–824.
- Tran QB, Melinda JL, 2013. The effects of watershed characteristics on storm runoff relationships in Vietnam. *Journal of Environmental Science and Water Resources* 2(2): 040–052.
- Wang D, Wu L, 2012. Similarity between runoff coefficient and perennial stream density in the Budyko framework. *Hydrology and Earth System Science* 9: 7571–7589.
- Wardian F, Shahedi K, Habib Nejad R, Zareie M, 2014. Evaluation of the efficiency of IHACRES rainfall-runoff model in daily and monthly flow simulation of Navrood Basin in Guilan Province. *Iran Water Research* 8(15): 229-233.
- Zhang Q, Liub D, Chenga S, Huang X, 2016. Combined effects of runoff and soil erodibility on available nitrogen losses from sloping farmland affected by agricultural practices. *Agricultural Water Management* 176: 1–8.