دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی اثر واحدهای سنگ‌شناسی برروی ضریب رواناب (مطالعه موردی هجده حوزه آبخیز در سه منطقه اقلیمی ایران)

محمد ایزدی[۱]، عبدالرضا بهره‌مند[۲]، علی محمدیان بهبهانی[۳]، چوقی بایرام کمکی[۳] و مریم آذرخشی[۴]

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری و استادیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ، گرگان،
۲- دانشیار، گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نویسنده مسوول: abdolreza.bahremand@gmail.com)
۴- استادیار آبخیزداری دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت‌حیدریه
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۰
صفحه: ۲۳۶ تا ۲۴۸

چکیده

زمین‌شناسی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رواناب و رسوب به شمار می‌رود. سازندهای زمین‌شناسی از یک طرف کنترل‌کننده ویژگی‌های توپوگرافیک یک حوضه هستند و از سوی دیگر خاک و ویژگی‌های سطحی زمین تابع این تشکیلات محسوب می‌شوند. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر واحدهای سنگ‌شناسی به عنوان عامل اصلی مؤثر بر حجم رواناب تولیدی و ضریب رواناب حوزه های آبخیز می‌باشد. برای این منظور، در تحقیق حاضر حوزه‌های آبخیز غالباً کوچک (کوچک‌ترین حوزه با مساحت ۱۷/۲ کیلومترمربع و بزرگ‌ترین حوزه ۱۳۸/٤ کیلومترمربع) با ویژگی سنگ‌شناسی غالب (به‌طوری‌که تقریباً بیش از ۷۰ درصد از مساحت حوزه را یک واحد سنگی و یا تشکیلات سنگ-چینه‌شناسی مشابه به خود اختصاص داده است) در سه منطقه اقلیمی (بر حسب بارش) متفاوت براساس منحنی تجمعی بارش-رواناب متناظر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به طور مشخصی نشان‌دهنده اثر معنی‌دار واحدهای سنگ‌شناسی بر روی ضریب رواناب است به‌طوری‌که حوزه‌هایی با واحدهای سنگ-چینه‌شناسی یکسان منحنی‌های مشابه و حوزه‌هایی با واحدهای سنگ-چینه‌شناسی متفاوت منحنی‌های متفاوتی دارند. واحدهای سنگ-چینه‌شناسی با تخلخل بیشتر دارای قدرت نفوذ بیشتر بوده و پتانسیل تولید رواناب کمتری دارد. برای مثال حوزه‌های فیلیتی خراسان رضوی به دلیل داشتن تخلخل کمتر نسبت به حوزه‌های آندزیت و توف آتشفشانی پتانسیل تولید رواناب بیشتری دارند. همچنین نتایج حاکی از تغییرات فصلی ضریب رواناب می باشد.

واژه‌های کلیدی: سازندهای زمین‌شناسی، ضریب رواناب، نمودار بارش-رواناب، واحدهای سنگ-چینه‌شناسی

مقدمه

بررسی‌های سازمان ملل حاکی از آن است که سیل یکی از جدی‌ترین بلایای طبیعی بشمار می‌رود و اغلب کشورهای جهان با خطر سیل‌خیزی مواجه هستند (۱۷). کشور ایران به دلیل قرارگیری در نیمکره شمالی (بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی) و به لحاظ وجود پستی و بلندی‌هایی که از نظر موقعیت و ویژگی‌های ساختمان با یکدیگر متفاوت هستند، دارای چهره متنوعی در مناطق طبیعی می‌باشد به نحوی که به راحتی می‌توان در طول سال شرایط مختلف اقلیمی را مشاهده نمود و چون میزان بارندگی سالانه به غیر از منطقه حاشیه‌ای دریای خزر تقریباً کم است، لذا جریان آب‌های سطحی بطور عمده بصورت فصلی و سیلابی است و طبعاً دارای جریان آشفته و نامنظم می‌باشد (۱۹). رواناب حاصل از بارندگی، در مسیر خود پس از جریان یافتن در سطح زمین و عبور 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 شهرهای پایین‌دست را در معرض خطر قرار می‌دهد (۹).

بیش از ۷۰ درصد از سازندهای زمین‌شناسی کشور ایران دارای مقاومت کم تا خیلی کم نسبت به عوامل فرسایشی می‌باشد و لذا این سازندها پتانسیل رسوب‌دهی بالایی را نیز خواهند داشت (۱۳). آذرخشی و همکاران (۳) در حوزه آبخیز صنوبر شهرستان تربت‌حیدریه نشان داد که بین واحدهای زمین‌شناسی از نظر تولید رواناب، رسوب و غلظت رسوب تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بنابراین، با در نظر گرفتن آب و هوای خشک و نیمه‌خشک حاکم بر بخش عظیمی از ایران و نرخ خاک‌زایی کم، بررسی میزان فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی و حجم رواناب تولیدی برای ارزیابی نرخ فرسایش‌پذیری و پتانسیل تولید رواناب حوزه‌های آبخیز ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۳). تغییر عوامل محیطی مانند اقلیم، لرزه‌خیزی و پوشش گیاهی در مقیاس حوزه‌های آبخیز کوچک عموماً کم و ثابت است، در صورتی است که گاهی خصوصیات واحدهای سنگ-چینه‌شناسی، می‌تواند حتی در حوزه‌های آبخیز کوچک نیز متغیر باشد (۴) و لذا تشابه یا تفاوت در واحدهای سنگ-چینه‌شناسی، می‌تواند کارایی و اهمیت این عامل را در سیل‌خیزی حوزه نشان دهد.

پتانسیل تولید رواناب حوزه‌ها آبخیز در قالب ضریب رواناب به‌عنوان نسبتی از بارش که به سطح زمین جاری می‌شود قابل بررسی است. عوامل و پارامترهای زیادی بر مقدار عددی ضریب رواناب مؤثرند که به طور کلی می‌توان آن‌ها را به دو دسته عوامل اقلیمی مانند دما، مقدار و نوع بارش و فراوانی وقوع آن‌ها و عوامل ژئومورفولوژیکی و فیزیوگرافیکی از قبیل خصوصیات زمین‌شناسی، چینه‌شناسی و تکتونیک منطقه، خصوصیات خاک، پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب، شکل و غیره تقسیم کرد (۲). ضریب رواناب عبارت است از ارتفاع آب جاری شده به بارندگی متوسط حوزه که بین صفر و یک تغییر می‌کند. به‌طور کلی عوامل مؤثر بر ضریب رواناب را می‌توان تحت تأثیر شرایط بارندگی و شرایط فیزیکی حوزه دانست.

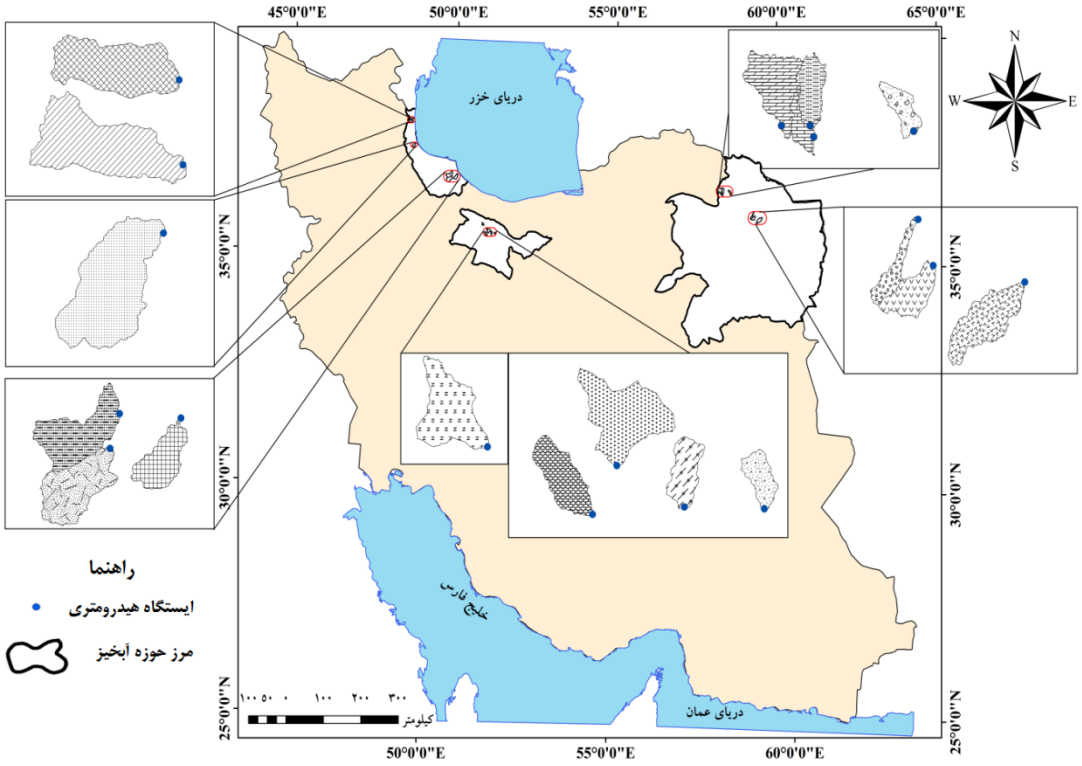
شرایط فیزیکی تابع خصوصیات توپوگرافیکی و ویژگی‌های واحدهای سنگ–چینه‌شناسی می‌باشد. زمین‌شناسی به‌عنوان یک عامل کلان بر فاکتورهای فیزیکی، فیزیوگرافیکی و پوشش گیاهی حوزه تاثیر گذار است. با توجه به این که خصوصیات توپوگرافیکی یک حوزه ثابت است، قاعدتاً بین بارندگی و رواناب و جنس واحدهای سنگ–چینه‌شناسی حوزه می‌توان یک رابطه مشخص و محسوس را انتظار داشت. عوامل اصلی زمین‌شناسی که رواناب سطحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد به دو گروه سنگ‌شناسی و ساختار زمین‌شناسی طبقه‌بندی شده‌اند. تأثیرات سنگ‌شناسی در ارتباط با ترکیب، بافت و لایه‌بندی سنگ‌ها است. درصورتی که ساختار زمین‌شناسی در ارتباط با عدم پیوستگی‌ها مثل گسل‌ها و نیز چین‌خوردگی‌ها می‌باشد (۱۴). یکی از جنبه‌ها مهم در آبخیزداری، ویژگی‌های زمین اعم از پوشش سنگ و خاک می‌باشد. در مناطقی مثل ایران که اغلب دارای ناهمواری‌های جوان است، ویژگی‌های خاک عمدتاً تابعی از ویژگی‌های سنگ مادر است (۴). سنگ‌شناسی منطقه و خاک حاصل از آن تا حدود زیادی تعیین‌کننده شدت و ظرفیت نفوذپذیری بوده و رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هنگامی که سنگ‌ها قابلیت نفوذ کمی داشته باشند به‌طور مستقیم باعث گسترش سیستم آبراهه‌ای می‌شوند و مقدار زیادی جریان سطحی ایجاد می‌کنند. ویژگی‌های سنگ‌شناسی به‌طور غیرمستقیم بر روی مشخصات حوزه تأثیرگذار است (۱۸). زمین‌شناسی سایر عوامل فیزیکی حوزه را تحت تأثیر قرار می‌دهد به‌طوری‌که تراکم زهکشی به جنس بستر و مقدار جریان در طول آبراهه بستگی دارد (۵). مقدار تراکم شبکه‌ی زهکشی متأثر از جنس سازندها، میزان شیب و برخی خصوصیات خاک نظیر آهک، درصد سیلت، کربن آلی و ضریب فرسایش‌پذیری هستند (۱). لزوماً ضریب فرسایش‌پذیری بالا موجب تراکم زهکشی نمی‌گردد چون پارامترهای ادافیکی به همراه عوامل پوشش گیاهی و پستی و بلندی در فرسایش نقش اساسی دارند. به‌عنوان مثال در سازندهای دوران چهارم زمین‌شناسی (کواترنری) اگرچه فرسایش‌پذیری بالاست ولی تراکم زهکشی در آن‌ها بسیار زیاد نیست. همچنین در سازندهایی که لیتولوژی مارنی آن‌ها غالب است، دارای بیشترین تراکم آبراهه و بیشترین حساسیت به فرسایش در مقایسه با سایر سازندها هستند (۷). بنابراین زمین‌شناسی نقش مسلمی در هیدرولوژی و فرسایش خاک دارد، به‌طوری که در روی سازندهای سست و حساس به فرسایش شبکه هیدروگرافی متراکم‌تری به وجود می‌آید. به‌طور مثال، در سازندهای آهکی نفوذ آب به دلیلی توسعه سیستم‌های درز و شکاف فرایند کارستی شدن زیاد است و این تشکیلات در مقدار آب زیرزمینی نقش عمده‌ای دارد، در ماسه‌سنگ‌ها شبکه هیدروگرافی عمدتاً درختی است و همه این موارد نشان از اهمیت شرایط زمین‌شناسی و سازندی منطقه بر روی تغییرات ضریب رواناب دارد. هله‌برند و همکاران (۶) با استفاده از سری زمانی تجمعی بارش و رواناب و بررسی نمودار حاصل از آن در حوزه‌های منطقه رود راین از مدل آماری استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که ضریب سیل‌خیزی زمستانه همبستگی زیادی با نفوذپذیری سازند سنگی دارد. نوربیاتو و همکاران (۱۰) در شرق آلپ به بررسی ضریب بارش–رواناب پرداختند که نتایج این تحقیق نشان داد که توزیع مکانی ضریب رواناب همبستگی زیادی با بارش متوسط سالانه دارد. فیستر و همکاران (۱۲) در تحقیقی بر روی چهار نوع سنگ به کمی کردن ارتباط بین نفوذپذیری سنگ‌بستر و پتانسیل نگهداشت آب و رواناب پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات میانگین رواناب تابستان نسبت به زمستان با نفوذپذیری سنگ بستر تطابق بیشتری دارد. در این تحقیق با استفاده از منحنی تجمعی بارش و رواناب و تغییرات لحظه‌ای ضریب رواناب در سه منطقه اقلیمی مختلف مورد بررسی قرار گرفت، چرا که اقلیم و میزان کل بارش سالانه در پاسخ هیدرولوژیکی حوزه تأثیر بسزایی دارد.

عدم انجام رتبه‌بندی سازندهای زمین‌شناسی از نظر توان تولید رواناب و حساسیت آن‌ها به فرسایش یکی از مشکلات موجود در طرح‌های حفاظت آب و خاک و کنترل فرسایش است (۱۶). تخریب خاک ناشی از فرسایش آبی یک علت اساسی در کاهش کیفیت خاک، زمین و منابع آبی محسوب شده که جوامع انسانی جهت توسعه پایدار، بیش از هر چیزی به آن وابسته است (۸)؛ بنابراین، مطالعه فرسایش و ارزیابی رسوب‌دهی از الزامات پروژه‌های آبخیزداری است.هدف این پژوهش بررسی اثر واحدهای سنگ‌شناسی مختلف بر روی ضریب رواناب حوزه‌های آبخیز و تغییرات سالانه آن در سه منطقه اقلیمی کشور واقع در استان‌های خراسان رضوی، تهران–البرز و گیلان است. سؤال اصلی تحقیق این است که آیا واحدهای سنگ‌شناسی تقریباً یکسان، اثر مشابهی بر روی منحنی بارش–رواناب در شرایط اقلیمی متفاوت دارد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات مناطق مورد مطالعه

در این تحقیق با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و نقشه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مرز حوزه‌های آبخیز برای تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری استان‌های مورد مطالعه تهیه شد؛ سپس با ادغام مرز حوزه‌های آبخیز و لایه لیتولوژی استان‌های خراسان رضوی، تهران–البرز و گیلان، حوزه‌های آبخیزی که دارای شرایطی از قبیل وسعت نسبتاً کم به‌طوری‌که حداقل ۷۰ درصد از مساحت حوزه را یک واحد سنگی به خود اختصاص دهد، انتخاب گردیدند. در مجموع ۷ حوزه در استان خراسان رضوی، ۵ حوزه در استان تهران–البرز و ۶ حوزه در استان گیلان انتخاب شدند، سپس پارامترهای فیزیوگرافیک و همبستگی آن‌ها با یکدیگر و همچنین ارتباط و معنی‌داری آن‌ها با ضریب رواناب واحدهای سنگ‌شناسی مختلف بررسی شد. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوزه‌های آبخیز مطالعاتی در استان‌های مربوطه و ایران نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی حوزه‌های آبخیز مطالعاتی در استان‌ها و ایران

Figure 1. Map of the geographic location of studied watersheds in provinces and Iran

در جدول ۱ به برخی ویژگی‌های حوزه‌های انتخابی اشاره شده است. تعیین نفوذپذیری سنگ‌ها بر اساس روش‌شناسی رضایی و عمرانی (۱۵) انجام شد. آن‌ها نفوذپذیری زیرلایه را با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و هیدرولوژیکی هم‌چون شکستگی و تخلخل طبقه‌بندی کردند که منتج به ایجاد درصد نفوذپذیری متفاوت برای هر واحد سنگی می‌گردد. در این تحقیق برای محاسبه جهت گسل‌های هر حوزه از روش رقومی کردن گسل‌های اصلی یا نزدیک‌ترین گسل به منطقه مورد مطالعه استفاده شد و نمودارهای گل‌سرخی سیستم اصلی درز و شکاف حوزه در محیط نرم‌افزار RockWorks16 ترسیم گردید.

جدول ۱- واحدهای سنگ‌شناسی و درصد تخلخل حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

Table 1. Mineralogical units and porosity percentage of studied watersheds

ردیف	استان	نام حوزه	مختصات جغرافیایی			سنگ‌شناسی واحد	تخلخل (درصد)	جهت گسل	بارش متوسط (mm)
				ثانیه دقیقه درجه	ثانیه دقیقه درجه				
۱	خراسان رضوی	زشک	طول	۵۹ ۰۶ ۰۳	۵۹ ۱۹ ۷۹	فیلیت	۳/۰۲	NW-SE	۳۵۴/۴
			عرض	۳۶ ۲۵ ۲۲	۳۶ ۳۵ ۴۵				
۲	خراسان رضوی	دولت آباد	طول	۵۹ ۰۴ ۳۱	۵۹ ۱۶ ۰۸	فیلیت	۳/۰۲	NW-SE	۳۵۳/۷
			عرض	۳۶ ۲۷ ۶۱	۳۶ ۴۳ ۱۶				
۳	خراسان رضوی	حصار دهبار	طول	۵۹ ۲۲ ۱۰	۵۹ ۴۰ ۵۳	فیلیت	۳/۰۲	NW-SE	۲۰۸/۳۵
			عرض	۳۶ ۱۶ ۶۳	۳۶ ۳۱ ۴۷				
۴	خراسان رضوی	ینگجه آبشار	طول	۵۸ ۱۸ ۶۰	۵۸ ۲۷ ۵۱	آندزیت و توف آتشفشانی	۹/۴۷	NW-SE	۲۹۴/۲۱
			عرض	۳۶ ۸۰ ۰۹	۳۶ ۹۸ ۰۲				
۵	خراسان رضوی	نشیب	طول	۵۸ ۰۷ ۵۱	۵۸ ۲۲ ۱۵	آندزیت و توف آتشفشانی	۹/۴۷	NW-SE	۲۹۱/۸۲
			عرض	۳۶ ۸۳ ۰۱	۳۶ ۹۸ ۵۷				
۶	خراسان رضوی	خایسک	طول	۵۸ ۲۰ ۰۲	۵۸ ۲۷ ۵۲	آندزیت و توف آتشفشانی	۹/۴۷	NW-SE	۲۹۴/۲۱
			عرض	۳۶ ۸۵ ۰۷	۳۶ ۹۸ ۰۲				
۷	خراسان رضوی	چکنه علیا	طول	۵۸ ۳۹ ۶۰	۵۸ ۴۹ ۹۳	آندزیت و توف آتشفشانی	۹/۴۷	NW-SE	۳۵۰/۶۴
			عرض	۳۶ ۸۲ ۷۴	۳۶ ۹۲ ۸۷				
۸	تهران- البرز	قلاک	طول	۵۱ ۴۵ ۵۵	۵۱ ۵۰ ۹۴	توف و شیل	۸/۲۴	W-E	۵۸۲/۷
			عرض	۳۵ ۸۱ ۸۳	۳۵ ۸۸ ۱۲				
۹	تهران- البرز	هفت‌حوض	طول	۵۱ ۳۵ ۴۲	۵۱ ۴۰ ۴۸	توف و شیل	۸/۲۴	W-E	۴۸۸/۱۸
			عرض	۳۵ ۸۱ ۴۱	۳۵ ۸۸ ۹۷				
۱۰	تهران- البرز	کشار	طول	۵۱ ۱۶ ۶۹	۵۱ ۲۵ ۷۰	توف و شیل	۸/۲۴	NW-SE	۴۰۹/۶
			عرض	۳۵ ۸۰ ۰۹	۳۵ ۸۸ ۱۷				
۱۱	تهران- البرز	رندان	طول	۵۱ ۲۲ ۳۱	۵۱ ۳۶ ۲۷	توف و شیل	۸/۲۴	NW-SE	۵۶۲/۶۱
			عرض	۳۵ ۸۵ ۳۷	۳۵ ۹۵ ۳۳				
۱۲	تهران- البرز	پل خواب نشتارود	طول	۵۱ ۰۷ ۹۴	۵۱ ۱۴ ۷۹	توف و شیل	۸/۲۴	NW-SE	۵۸۰/۳۱
			عرض	۳۶ ۰۱ ۵۴	۳۶ ۰۷ ۷۹				
۱۳	گیلان	شبخوسلات	طول	۵۰ ۱۵ ۳۹	۵۰ ۲۸ ۳۱	بازالت‌های آتشفشانی	۸/۱۴	W-E	۱۳۰۳/۳۰
			عرض	۳۶ ۹۸ ۷۸	۳۷ ۱۱ ۶۱				
۱۴	گیلان	اطاقور	طول	۴۹ ۹۱ ۸۱	۵۰ ۱۲ ۳۱	بازالت‌های آتشفشانی	۸/۱۴	W-E	۱۲۶۷/۳۱
			عرض	۳۷ ۰۰ ۴۵	۳۷ ۱۶ ۵۳				
۱۵	گیلان	کل‌چال	طول	۴۹ ۹۴ ۴۸	۵۰ ۱۲ ۷۳	بازالت‌های آتشفشانی	۸/۱۴	W-E	۱۲۶۲/۱۶
			عرض	۳۶ ۹۱ ۲۸	۳۷ ۰۵ ۶۱				
۱۶	گیلان	لمیر قربانعلی	طول	۴۸ ۶۸ ۸۱	۴۸ ۸۲ ۹۸	رسوبات آندزیتی	۷/۰۶	N-S	۱۴۷۶
			عرض	۳۸ ۲۱ ۰۳	۳۸ ۲۵ ۹۵				
۱۷	گیلان	صفرمحله جعفر	طول	۴۸ ۶۷ ۳۱	۴۸ ۸۴ ۴۸	رسوبات آندزیتی	۷/۰۶	N-S	۱۴۶۹
			عرض	۳۸ ۱۴ ۵۳	۳۸ ۲۱ ۵۳				
۱۸	گیلان	کله سرا	طول	۴۸ ۸۵ ۰۶	۴۸ ۹۵ ۳۱	رسوبات آندزیتی	۷/۰۶	N-S	۱۲۹۶/۳۹
			عرض	۳۷ ۶۱ ۴۵	۳۷ ۷۱ ۰۳				

سپس با توجه به اینکه خصوصیات فیزیوگرافیک بر میزان ضریب رواناب موثراند (۹) مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافیک حوزه‌های انتخابی مانند مساحت، محیط، تراکم زهکشی، طول آبراهه اصلی، ضریب شکل (هورتون) و ضریب فشردگی (گراولیوس) در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.5 تعیین گردید، مقادیر این پارامترها در جدول ۲ ارائه شده است. ارتفاع متوسط حوزه‌ها بین ۷۰۱ متر از سطح دریا در پایین‌ترین نقطه تا ۳۰۶۹ متر از سطح دریا قرار داشت.

جدول ۲- خصوصیات فیزیوگرافیکی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

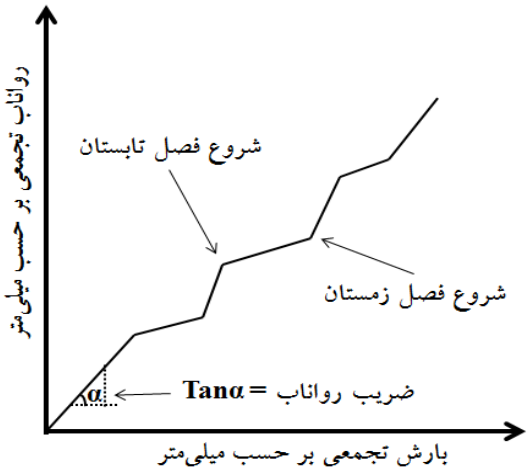
Table 2. Physiographic characteristics of the studied watersheds

ردیف	نام حوزه	خصوصیات فیزیکی حوزه							
		ارتفاع متوسط (m)	مساحت (km^2)	محیط (km)	تراکم زهکشی (km/km^2)	طول آبراهه اصلی (km)	ضریب فشردگی گراویوس	ضریب شکل هورتون	شیب متوسط (درصد)
۱	چکنه‌علیا	۲۰۱۳	۴۱/۸	۳۵/۱	۱/۳۵	۱۳/۵	۱/۵۱	۰/۲۳	۲۰/۵۳
۲	حصار دهبار	۲۰۷۶	۱۱۶/۱	۵۴/۳	۲/۱۸	۲۳/۹	۱/۶۱	۰/۱۵	۲۹/۵۱
۳	دولت آباد	۲۴۲۳/۵	۴۰/۹	۴۶/۲	۱/۹۰	۲۰/۴	۲/۰۲	۰/۰۹	۴۵/۴۴
۴	خایسک	۱۹۲۱/۵	۵۹	۴۱	۱/۳۲	۱۴/۲	۱/۴۹	۰/۳۰	۱۴/۲۱
۵	ینگجه آبشار	۱۹۱۲/۵	۹۰/۸	۵۴/۱	۱/۳۱	۱۷/۶	۱/۵۹	۰/۲۹	۱۲/۷۳
۶	زشک	۲۴۵۹	۶۵/۷	۴۲/۱	۲/۰۳	۱۶/۶	۱/۴۲	۰/۲۵	۴۲/۴۹
۷	نشیب	۱۹۳۳/۵	۱۱۰/۱	۵۸/۴	۱/۲۳	۱۷/۷	۱/۵۳	۰/۳۶	۱۶/۳۲
۸	رندان	۲۷۹۵	۶۸	۴۵/۳	۲/۰۲	۱۳/۱۵	۱/۵۴	۰/۵۵	۴۸/۶۲
۹	پل خواب نشتارود	۳۰۶۹	۲۴/۵	۲۴/۲	۲/۰۶	۱۶/۴۳	۱/۵۷	۰/۳۲	۴۷/۲۴
۱۰	قلاک	۲۶۰۴	۱۷/۲	۱۸/۳	۲/۲۵	۷/۵۶	۱/۲۳	۰/۳۵	۵۱/۳۳
۱۱	هفت حوض	۲۸۴۰	۲۴/۱	۲۵/۳	۲/۰۷	۹/۲۶	۱/۳۹	۰/۳۵	۴۸/۴۹
۱۲	کشار	۲۴۰۳	۳۴/۹	۲۷/۳	۲/۳۲	۱۲/۹۶	۱/۲۹	۰/۲۸	۳۸/۳۶
۱۳	شبخوسلات	۷۰۱	۸۰/۳	۴۳/۲	۲/۳۱	۱۹/۷۶	۱/۳۴	۰/۳۴	۲۴/۶۷
۱۴	اطاقور	۸۰۳/۵	۱۳۸/۴	۶۱/۸	۲/۱۱	۲۳/۳۳	۱/۴۷	۰/۳۴	۲۹/۸۲
۱۵	کل چال	۱۲۶۹	۱۳۵/۵	۵۳/۷	۲/۱۸	۲۲/۲۴	۱/۳۰	۰/۳۶	۴۲/۶۵
۱۶	لمیر قربانعلی محله	۱۰۸۱	۴۵/۵	۳۳/۱	۲/۱۴	۱۴/۱۱	۱/۳۷	۰/۳۱	۴۰/۶۹
۱۷	صفرمحله،جعفرمحله	۱۲۳۵	۶۰/۸	۴۰/۸	۱/۹۷	۱۷/۱۳	۱/۴۷	۰/۳۱	۴۷/۲۸
۱۸	کله سرا	۸۰۶/۵	۵۳/۳	۳۳/۴۰	۲/۰۱	۱۴/۷۷	۱/۲۸	۰/۳۵	۳۹

داده‌های بارش و دبی روزانه حوزه‌های آبخیز انتخاب شده هر استان از شرکت‌های آب منطقه‌ای استان‌های مربوطه تهیه و پس از ارزیابی دقت داده‌ها با استفاده از روش جرم مضاعف، پایه زمانی مشترک ۱۴ ساله برای این حوزه‌های آبخیز از سال آبی ۸۱-۸۰ الی ۹۴-۹۳ انتخاب شد. سپس داده‌های بارش و دبی در محیط نرم‌افزار اکسل به ترتیب به بارش تجمعی و ارتفاع رواناب برحسب میلی‌متر تبدیل شد، ابتدا با تبدیل ۱۴ سال سری زمانی داده بارش و دبی روزانه به یک سری زمانی یکساله بارش و دبی و سپس تجمعی کردن داده‌ها، منحنی تجمعی بارش-رواناب سالانه برای هر حوزه محاسبه شد و در زبان برنامه‌نویسی نرم‌افزار Python با استفاده از بسته نرم‌افزاری matplotlib ترسیم شد و نتایج آن با توجه به ویژگی‌های واحدهای سنگ‌شناسی آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت، به‌طوری‌که شیب منحنی تجمعی بارش-رواناب هر حوزه نشان دهنده ضریب رواناب آن حوزه است (مطابق شکل ۲)، سپس بدون میانگین گرفتن از داده‌ها و با تجمعی کردن متوالی ۱۴ سال داده منحنی تجمعی بارش-رواناب در نرم‌افزار Python ترسیم گردید و نتایج آن با توجه به ویژگی‌های واحدهای سنگ‌شناسی آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین در این پژوهش سعی شد تا در هر اقلیم (استان‌های خراسان رضوی با بارش حدود ۳۰۰ میلی‌متر، تهران-البرز با بارش حدود ۶۰۰ میلی‌متر و گیلان با بارش حدود بیش از ۱۵۰۰ میلی‌متر) از هر زمین‌شناسی حداقل دو الی چهار حوزه انتخاب شود تا فرآیند تکرار هم صورت گیرد. تقسیم‌بندی براساس بارش به گونه‌ای صورت گرفته است که می‌توان گفت از سه اقلیم خشک، نیمه خشک و مرطوب حوزه‌های آبخیز انتخاب گردیدند.

منحنی تجمعی بارش-رواناب

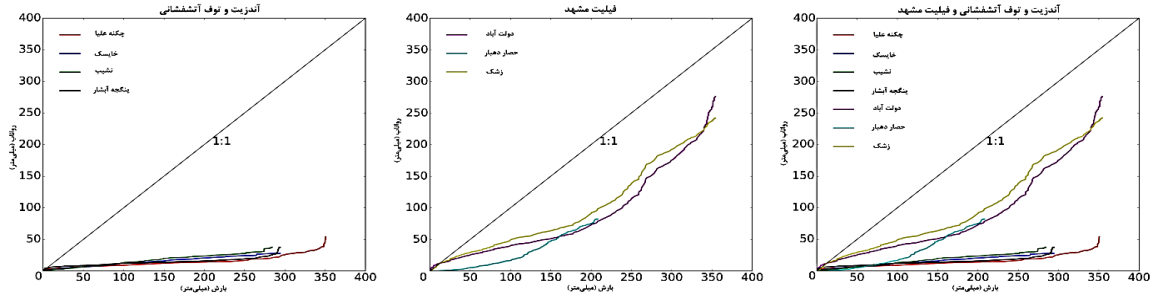
نمایش تجمعی ارتفاع بارش به ارتفاع رواناب متناظر اطلاعات مهمی در خصوص ویژگی‌های پاسخ هیدرولوژیک حوزه و ارتباط آن با واحدهای سنگ‌شناسی ارائه می‌کند (۶،۱۲،۱۱). هله‌برند و همکاران (۶) نشان دادند که ضریب رواناب زمستان یک حوزه، به‌طور قوی به درصد مساحت لایه‌های نفوذناپذیر حوزه ارتباط دارد. استفاده از نفوذپذیری لایه‌ها به‌عنوان پارامتر مستقل یک کنترل قوی روی تولید رواناب طی دوران زمستان دارد به‌طوری‌که ویژگی‌های دیگر حوزه‌های آبخیز در این مقیاس از اهمیت کمتری برخوردار بودند. با توجه به اینکه ضریب رواناب نسبت رواناب به بارش است، شیب منحنی تجمعی بارش-رواناب نیز نمایش‌دهنده‌ی ضریب رواناب و تغییرات آن می‌باشد، شکل ۲ نمودار شماتیک تجمعی بارش-رواناب را نشان می‌دهد. همچنین فیستر و همکاران (۱۲) با استفاده از منحنی تجمعی بارش-رواناب در تفسیر نقش زمین‌شناسی در پاسخ هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز کشور لوکزامبورگ استفاده کردند.



شکل ۲- نمودار شماتیک تجمعی بارش-رواناب (فیستر و همکاران، ۲۰۰۲، ۲۰۱۷ و هله‌برند و همکاران، ۲۰۰۸)
Figure 2. Cumulative rainfall-runoff schematic graph (Pfister et al., 2002, 2017; Hugo Hellebrand et al., 2008)

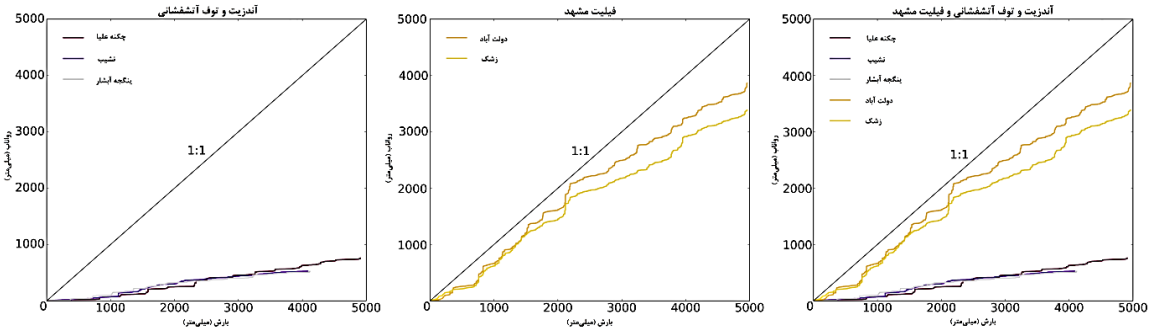
نتایج و بحث

این پژوهش در استان خراسان رضوی با مقدار بارش تجمعی سالیانه کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر بر روی هفت حوزه آبخیز با زمین‌شناسی متفاوت به‌طوری‌که سه حوزه با خصوصیت سنگ‌شناسی غالب فیلیت و چهار حوزه با سنگ‌شناسی آندزیت و توف آتشفشانی انجام شد. نتایج حاصل از منحنی تجمعی بارش-رواناب (مطابق شکل ۳) نشان می‌دهد که منحنی تجمعی بارش رواناب حوزه‌های آبخیز با سنگ‌شناسی فیلیت همگی از یک روند کلی مشابه پیروی می‌کنند و گراف‌های حوزه‌های فیلیتی در کنار یکدیگر قرار گرفتند. این امر برای حوزه‌های آندزیت و توف آتشفشانی این استان نیز کاملاً صادق است و حوزه‌های دارای زمین‌شناسی آندزیتی و توف آتشفشانی نیز از یک روند کلی مشابه با یکدیگر پیروی می‌کنند و در کنار یکدیگر قرار گرفتند. با مقایسه این دو واحد زمین‌شناسی فیلیت و آندزیت-توف آتشفشانی در کنار یکدیگر (تلفیق هفت حوزه آبخیز این استان در کنار هم) به طرز محسوسی اختلاف معنی‌دار ضرایب رواناب این حوزه‌های آبخیز مشاهده می‌شود که این خود نشان‌دهنده اهمیت و تأثیر زمین‌شناسی به‌عنوان عامل کلان‌تر می‌باشد.



شکل ۳- نمودار تجمعی بارش-رواناب سالیانه حوزه‌های خراسان رضوی، نمودار سمت چپ زمین‌شناسی آندزیت و توف، نمودار وسط زمین‌شناسی فیلیت و نمودار سمت راست تلفیق هر دو زمین‌شناسی
Figure 3. Cumulative rainfall-runoff graph of Khorasan-Razavi watersheds, left graph of Andesite and Tuff, middle graph of Mashhad Phyllites, and the right graph of the combination of both geology

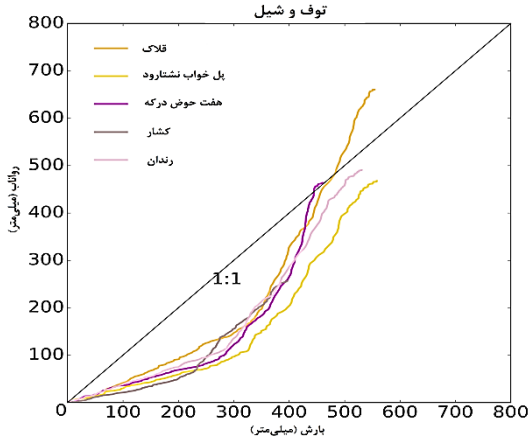
در استان خراسان رضوی با مقدار بارش تجمعی کمتر از ۵۰۰۰ میلی‌متر در مدت ۱۴ سال آبی (سال آبی ۸۱-۸۰ الی ۹۴-۹۳) منحنی‌های تجمعی بارش-رواناب ترسیم گردید (شکل ۴). دو حوزه آبخیز خایسک و حصار دهبار به دلیل کمبود داده از گراف تجمعی بارش-رواناب ۱۴ ساله حذف شده‌اند. در این گراف‌های تجمعی بارش-رواناب نیز اختلاف معنی‌دار بین دو زمین‌شناسی وجود دارد. تغییرات نسبتاً منظم شیب آن‌ها نشان‌دهنده تغییرات فصلی ضریب رواناب است و شیب کلی منحنی بیانگر ضریب رواناب متوسط حوزه می‌باشد. واحد سنگی آندزیت و توف آتشفشانی دارای متوسط ضریب رواناب ۰/۱۴ و واحد سنگی فیلیت مشهد دارای متوسط ضریب رواناب ۰/۷۶ می‌باشند.



شکل ۴- نمودار تجمعی بارش-رواناب با طول آماری ۱۴ سال حوزه‌های خراسان رضوی، نمودار سمت چپ زمین‌شناسی آندزیت و توف، نمودار وسط زمین‌شناسی فیلیت و نمودار سمت راست تلفیق هر دو زمین‌شناسی

Figure 4. Cumulative rainfall-runoff graph with 14-year statistical length in Khorasan-Razavi watersheds, left graph of Andesite and Tuff, the middle graph of Mashhad Phyllites and the right graph of the combination of both geology

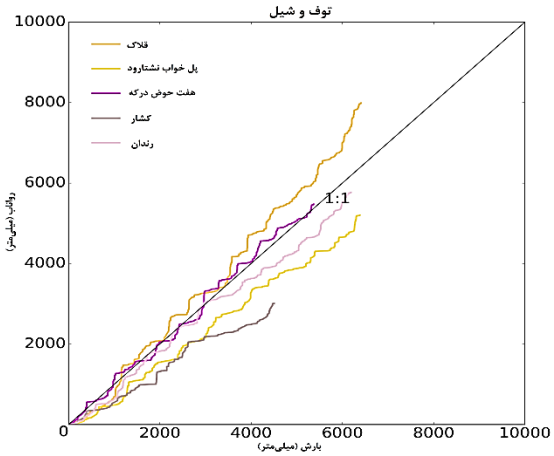
این پژوهش در استان‌های تهران-البرز با مقدار بارش تجمعی سالیانه کمتر از ۸۰۰ میلی‌متر بر روی پنج حوزه آبخیز با یک نوع زمین‌شناسی مشابه (توف-شیل) صورت گرفته است. با توجه به منحنی تجمعی بارش و رواناب این استان (شکل ۵) به‌وضوح می‌توان به تأثیر واحدهای سنگ‌شناسی در میزان حجم رواناب تولیدی حوزه پی برد. به‌طوری‌که منحنی تجمعی بارش-رواناب حوزه‌هایی با ویژگی‌های زمین‌شناسی توف-شیل همگی از یک روند کلی مشابه پیروی می‌کنند و گراف‌های این پنج حوزه آبخیز در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند.



شکل ۵- نمودار تجمعی بارش-رواناب سالیانه حوزه‌های تهران-البرز، نمودار زمین‌شناسی توف و شیل

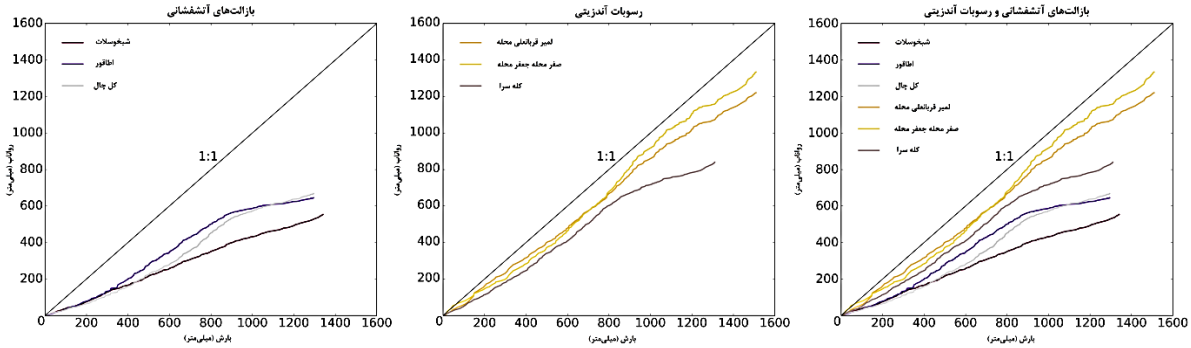
Figure 5. Cumulative rainfall-runoff graph of Tehran-Alborz watersheds, Tuff and Shale geology

همچنین در استان تهران-البرز با مقدار بارش تجمعی کمتر از ۱۰۰۰۰ میلی‌متر در مدت ۱۱ سال آبی (سال آبی ۸۱-۸۰ الی ۹۱-۹۰) منحنی‌های تجمعی بارش-رواناب ترسیم گردید (شکل ۶). در این گراف‌های تجمعی بارش-رواناب نیز تغییرات نسبتاً منظم شیب آن‌ها نشان‌دهنده تغییرات فصلی ضریب رواناب است و شیب کلی منحنی بیانگر ضریب رواناب متوسط حوزه می‌باشد. متوسط دراز مدت ضریب رواناب حوزه‌های هفت حوض و قلاک به ترتیب ۱/۰۴ و ۱/۱۶ می‌باشد. رفتار ضریب رواناب در حوزه هفت حوض به این صورت است که شیب در نیمی از سال (مهر تا اواخر بهمن) حدود ۰/۳۳ و در نیمسال دیگر (اسفند تا شهریور) حدود ۱/۳ می‌باشد (شکل ۵). اما در حوزه قلاک در نیمی از سال (مهر تا اواخر بهمن) ۰/۵۷ و در نیمسال دیگر حدود ۲/۳۴ می‌باشد (شکل ۵). این خود نشان‌دهنده تغییرات فصلی زیاد ضریب رواناب است. باتوجه به اینکه متوسط دراز مدت ضریب رواناب در این دو حوزه بیش از یک می‌باشد، می‌توان حداقل دو دلیل برای آن متصور شد. درخصوص این حوزه‌ها احتمال عدم تطابق مرز هیدرولوژیکی حوزه با مرز فیزیوگرافیکی وجود دارد (به‌خصوص حوزه آبخیز قلاک که لایه‌های زمین‌شناسی و وجود گسل آهار به نظر تأییدکننده این تصور می‌باشند). دلیل دیگر با توجه به ارتفاع زیاد این حوزه و برف‌گیر بودن آن‌ها احتمال اینکه نزولات برفی در آمار بارش اضافه نشده باشند یا به‌درستی لحاظ نشده باشند نیز وجود دارد. همچنین متوسط ضریب رواناب برای حوزه‌های آبخیز با واحد سنگی توف و شیل ۰/۹۰ می‌باشد.



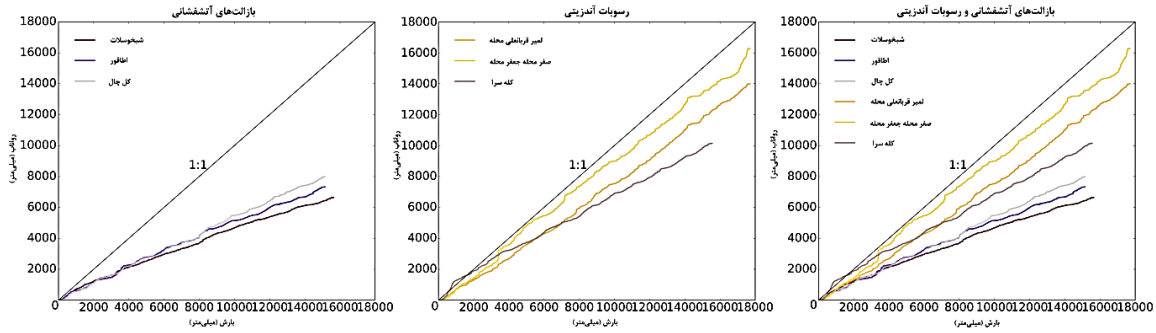
شکل ۶- نمودار تجمعی بارش-رواناب با طول آماری ۱۱ ساله حوزه‌های تهران-البرز، نمودار زمین‌شناسی توف و شیل
Figure 6. Cumulative rainfall-runoff graph with 11-year statistical length in Tehran-Alborz watersheds, Tuff and shale geology

این تحقیق در استان گیلان با مقدار بارش تجمعی سالیانه کمتر از ۱۶۰۰ میلی‌متر بر روی شش حوزه آبخیز با دو نوع زمین‌شناسی متفاوت (سه حوزه با زمین‌شناسی بازالت‌های آتشفشانی و سه حوزه با زمین‌شناسی رسوبات آندزیتی) صورت گرفته است (شکل ۷). گراف‌های تجمعی بارش-رواناب حاصل از حوزه‌های آبخیز استان گیلان نیز تاییدی بر این ادعاست که زمین‌شناسی مهم‌ترین عامل در میزان رواناب تولیدی حوزه‌های آبخیز است. شکل ۷ نمودار تجمعی سالیانه بارش-رواناب حوزه‌های آبخیز استان گیلان را نشان می‌دهد.



شکل ۷- نمودار تجمعی بارش-رواناب حوزه‌های گیلان، نمودار سمت چپ زمین‌شناسی بازالت‌های آتشفشانی، نمودار وسط زمین‌شناسی رسوبات آندزیتی و نمودار سمت راست تلفیق هر دو زمین‌شناسی
Figure 7. Cumulative rainfall-runoff graph of Gilan watersheds, left graph of volcanic Basaltic, the middle graph of Andesitic sedimentary and right graph of the combination of both geology

علاوه بر این، در استان گیلان با مقدار بارش تجمعی کمتر از ۱۸۰۰۰ میلی‌متر در مدت ۱۲ سال آبی (سال آبی ۸۲-۸۱ الی ۹۳-۹۲) منحنی‌های تجمعی بارش-رواناب ترسیم گردید (شکل ۸). در این گراف‌های تجمعی بارش-رواناب نیز اختلاف معنی‌دار بین دو زمین‌شناسی وجود دارد. تغییرات نسبتاً منظم شیب آن‌ها نشان‌دهنده تغییرات فصلی کمتر ضریب رواناب می‌باشد و شیب کلی منحنی بیانگر ضریب رواناب متوسط حوزه می‌باشد. به نظر می‌رسد در استان گیلان بتوان این رفتار را به بارش‌های منظم و رطوبت خاک بالا و همچنین پوشش گیاهی انبوه و متراکم مرتبط دانست. اما همچنان متوسط ضریب رواناب در بازالت‌های آتشفشانی و رسوبات آندزیتی اختلاف آشکاری را نشان می‌دهد. همچنین حوزه‌های آبخیز با واحد سنگی بازالت‌های آتشفشانی دارای متوسط ضریب رواناب ۰/۵ و حوزه‌های با واحد سنگی رسوبات آندزیتی دارای متوسط ضریب رواناب ۰/۷ می‌باشند.



شکل ۸- نمودار تجمعی بارش-رواناب با طول آماری ۱۲ ساله حوزه‌های گیلان، نمودار سمت چپ زمین‌شناسی بازالت‌های آتشفشانی، نمودار وسط زمین‌شناسی رسوبات آندزیتی و نمودار سمت راست تلفیق هر دو زمین‌شناسی

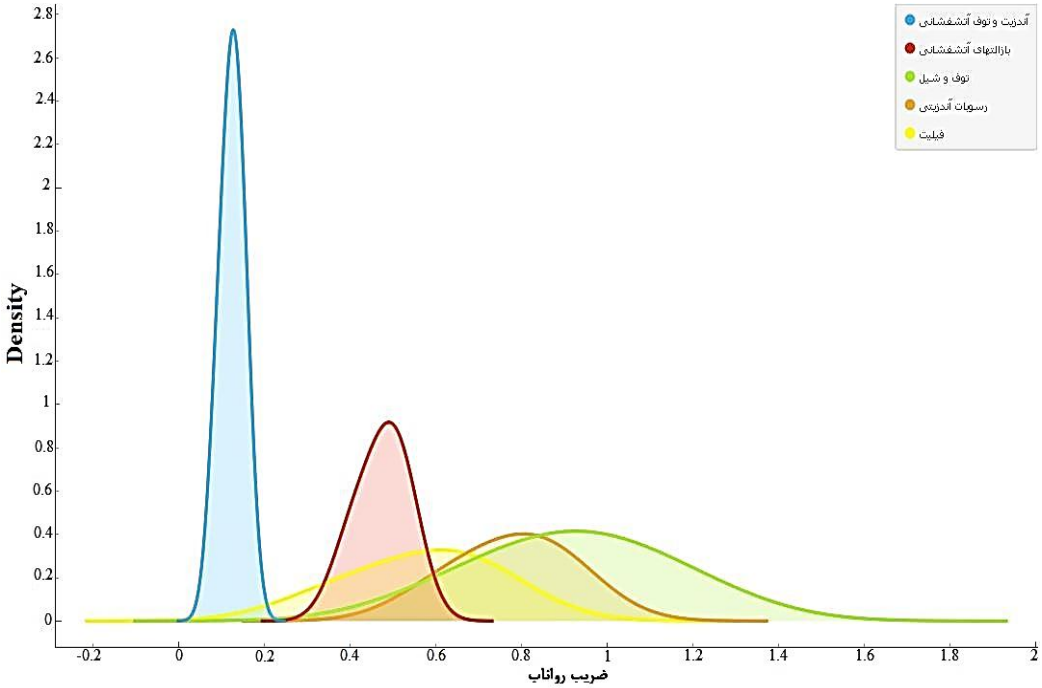
Figure 8. Cumulative rainfall-runoff graph with 12-year statistical length of Gilan watersheds, left graph of volcanic Basaltic, the middle graph of Andesitic sedimentary rocks and right graph of the combination of both geology

با توجه به روند کلی منحنی‌های تجمعی بارش-رواناب حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در هر اقلیم، نتایج نشان می‌دهند که منحنی تجمعی بارش-رواناب برای هر یک از حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه دارای یک شکست در شیب می‌باشد.

به‌طوری‌که این شکست شیب برای حوزه‌های با سنگ‌شناسی فیلیت خراسان رضوی در بارش ۱۹۰ میلی‌متر دیده می‌شود (شکل ۳). همچنین با بررسی دقیق جداول تجمعی بارش-رواناب در مقابل زمان مشخص می‌شود که تاریخ این شکست شیب با توجه به این‌که حجم بارش ۱۹۰ میلی‌متر در اواخر اسفند ماه و اوایل فروردین در این حوزه‌ها حادث می‌شود، این تغییر شیب می‌تواند مربوط به ذوب برف بوده به‌طوری گرم‌تر شدن هوا و افزایش ذوب برف و اشباع خاک باعث افزایش ضریب رواناب می‌باشد (شکل ۳).

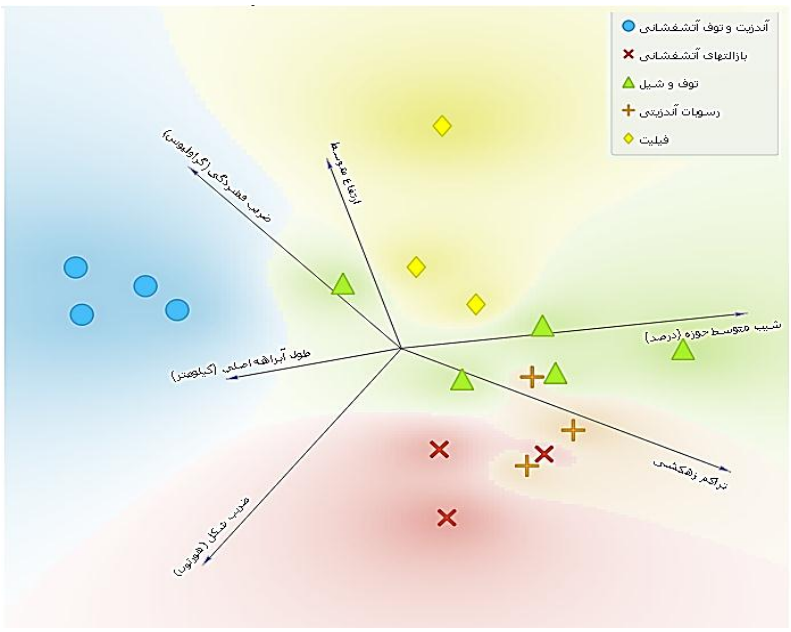
حوزه‌های آبخیز منتخب مورد مطالعه در استان‌های تهران-البرز باتوجه به شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی برف‌گیر می‌باشند. شکست شیب منحنی‌های تجمعی بارش-رواناب برای حوزه‌های با سنگ شناسی توف و شیل در میزان بارش تجمعی ۳۵۰ میلی‌متر اتفاق می‌افتد. با توجه به این‌که ۳۵۰ میلی‌متر بارش در اواخر اسفند ماه و فروردین حادث می‌شود این شکست شیب و افزایش رواناب در این حوزه‌ها نیز می‌تواند مرتبط با گرم شدن هوا و درنتیجه ذوب برف باشد (شکل ۵). شکست شیب منحنی تجمعی بارش-رواناب برای حوزه‌های آبخیز منتخب واقع در استان گیلان در میزان بارش تجمعی ۹۰۰ میلی‌متر دیده می‌شود. باتوجه به این‌که ۹۰۰ میلی‌متر بارش تجمعی در اواخر اردیبهشت و اوایل خرداد حادث می‌شود، لذا این شکست به سبب ایجاد وقفه زمانی در بین بارش‌های بعد از خرداد ماه و افزایش تبخیر و تعرق گیاهی می‌باشد (شکل ۷). به‌طوری‌که با افزایش فاصله بین بارندگی‌ها، خاک و زمین‌شناسی منطقه رطوبت خود را از دست داده و این خود باعث کاهش ضریب رواناب می‌شود. همچنین ملاحظه می‌شود که در شهریور ماه با افزایش مقدار و فراوانی بارش منجر به افزایش مجدد ضریب رواناب می‌گردد (شکل۷). هله‌برند و همکاران (۶) نشان دادند که مساحت حوزه تأثیری روی ضریب رواناب ندارد. همچنین هله‌برند و همکاران (۶) نشان دادند که ضریب رواناب زمستانی یک حوزه، به‌طور قوی به درصد مساحت لایه نفوذناپذیر حوزه ارتباط دارد و استفاده از نفوذپذیری لایه‌ها به عنوان یک پارامتر مستقل، کنترلی قوی روی تولید رواناب طی فصل زمستان می‌باشد و سایر ویژگی‌های حوزه در این مقیاس از اهمیت کمتری برخوردار بودند.

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 استان‌های خراسان رضوی و تهران-البرز به صورت برف می‌باشد. از آنجا که چرخه هیدرولوژیکی برف (ذوب و تبخیر) به دلیل دمای پایین طی این ماه‌ها بسیار کند است. بررسی تغییرات زمانی ضریب رواناب در ابعاد ماهانه نشان داد که در اغلب حوزه‌های آبخیز بیشترین مقدار ضریب رواناب ماهانه استان گیلان مربوط به فروردین، همچنین بیشترین مقدار ضریب رواناب ماهانه استان تهران-البرز مربوط به اردیبهشت ماه و بیشترین مقدار ضریب رواناب ماهانه استان خراسان رضوی مربوط به مرداد ماه می‌باشد. این تغییرات می‌تواند دلایل متعددی از جمله تغییرات مقدار، نوع و فراوانی بارش‌ها را دربرگیرد. شکل ۹ اختلاف معنی‌دار ضریب رواناب حوزه‌های آبخیز دارای واحدهای سنگ چینه‌شناسی مختلف را نشان می‌دهد. همچنین ملاحظه می‌شود که حوزه‌های آندزیت و توف آتشفشانی به وضوح ضریب رواناب کمتری در مقایسه با حوزه‌های بازالتی دارند، به‌طوری‌که حتی دامنه ضریب رواناب این دو دسته حوزه هم‌پوشانی ندارد. همچنین ضریب رواناب در حوزه‌هایی با سنگ‌شناسی توف و شیل بیش از حوزه‌های آندزیتی و بازالتی می‌باشد.



شکل ۹- نمودار ضریب رواناب در واحدهای سنگ چینه‌شناسی مختلف
Figure 9. Runoff coefficient graph in different lithostratigraphy

رابطه‌ی بین ضریب رواناب و مشخصات فیزیکی حوزه آبخیز بررسی ماتریس همبستگی بین ضریب رواناب و مشخصات حوزه‌های آبخیز نشان داد که فقط بین ضریب رواناب با شیب متوسط حوزه و تراکم زهکشی آن ارتباط معنی‌دار وجود دارد. بدیهی است که هر دوی این عوامل متأثر از واحدهای سنگ‌شناسی حوزه می‌باشند؛ نمودار شکل ۱۰ ارتباط و تأثیر زمین‌شناسی بر عوامل فیزیکی حوزه (به‌جز مساحت و محیط) را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نمودار رابطه بین واحدهای سنگ چینه‌شناسی و خصوصیات فیزیکی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه
Figure 10. Graph of relationship between the lithostratigraphy and the physical properties of the studied watersheds

ضریب رواناب معمولاً با مساحت رابطه معکوس دارد (۲)، در این تحقیق نیز با توجه به انتخاب حوزه‌هایی با مساحت نزدیک به هم تلاش شد تا تأثیر مساحت بر ضریب رواناب حداقل گردد. سایر عوامل فیزیکی حوزه که معمولاً بر ضریب رواناب تأثیر دارند نیز رابطه معنی‌داری را نشان نمی‌دهند. جدول ۳ ماتریس همبستگی بین ضریب رواناب و مشخصات فیزیوگرافی حوزه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ماتریس همبستگی بین ضریب رواناب و مشخصات فیزیوگرافی حوزه‌های آبخیز منتخب در استان‌های مورد مطالعه

Table 3. Correlation matrix between runoff coefficient and physiographic characteristics of selected watersheds in studied provinces

	شیب متوسط حوزه (درصد)	ضریب فشردگی گراولیوس	ضریب شکل هورتون	تراکم زهکشی (km/km^2)	طول آبراهه اصلی (km)	ارتفاع متوسط (m)	مساحت (km^2)	ضریب رواناب
شیب متوسط حوزه	۱							
ضریب فشردگی گراولیوس	-۰/۲۰	۱						
ضریب شکل هورتون	۰/۱۸	-۰/۷۰**	۱					
تراکم زهکشی (km/km^2)	۰/۶۹**	-۰/۳۸	۰/۰۹	۱				
طول آبراهه اصلی (km)	۰/۰۸	۰/۳۲	-۰/۱۱	۰/۱۰	۱			
ارتفاع متوسط (m)	۰/۳۴	۰/۲۲	-۰/۰۴	-۰/۰۷	۰/۱۷	۱		
مساحت (km^2)	-۰/۴۶	۰/۰۴	۰/۰۶	-۰/۱۰	۰/۰۵	-۰/۵۱	۱	
ضریب رواناب	۰/۹۴**	-۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۷۰**	-۰/۰۱	۰/۳۱	-۰/۵۲	۱

**: همبستگی در سطح ۰/۰۱ معتبر است.

با توجه به منحنی تجمعی بارش و رواناب حوزه‌های مورد مطالعه به‌وضوح می‌توان به تأثیر بسزا و اساسی زمین‌شناسی در میزان رواناب تولیدی حوزه پی برد. در یک جمع‌بندی کلی، می‌توان نتیجه گرفت که منحنی‌های تجمعی بارش-رواناب حوزه‌هایی که بیشتر مساحت آن‌ها را واحدها سنگ-چینه شناسی و سازندهای زمین‌شناسی آذرین و یا دگرگونی تشکیل می‌دهد پتانسیل تولید رواناب بیشتری دارند و حوزه‌های آبخیزی که از واحدها سنگ-چینه شناسی و ساخت‌های رسوبی تشکیل شده‌اند از پتانسیل تولید رواناب کمتری برخوردار هستند. نتایج این تحقیق در خصوص تاثیر زمین‌شناسی بر ضریب رواناب با فیستر و همکاران ۲۰۱۷ همخوانی دارد، به‌طوری که سنگ‌شناسی‌های مختلف رفتار متفاوتی دارند و همچنین در خصوص تغییر رفتار ضریب رواناب سالانه (تغییرات فصلی و دو فصلی) نتایج با تحقیق هله‌برند و همکاران در یک راستاست و مطابقت دارد. در حوزه‌های آبخیزی که دارای شرایطی مشابه به حوزه‌های مطالعاتی این پژوهش می‌باشند ولی به دلایلی فاقد ایستگاه هیدرومتری و دستگاه ثبات هستند نیز می‌توان رفتار حوزه نسبت به بارش را پیش‌بینی کرد و اقدامات مدیریتی لازم را اعمال کرد. همچنین توصیه می‌شود این تحقیق در سطحی وسیع‌تر با تنوع زمین‌شناسی و اقلیمی بیشتر و با تعداد بیشتری از حوزه‌های آبخیز انجام شود تا تحلیل‌های آماری دقیق‌تر و نتایج جامع‌تری بدست آید.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با استفاده از پژوهانه دانشجویی پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. از شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت آب منطقه‌ای مشهد که زمینه انجام این پژوهش را فراهم کرده و همچنین از جناب آقای دکتر محمد قبایی و جناب آقای دکتر حامد رضایی که ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Ahmadi, H., A. Kolarastaghi and N. Mashhadi. 2007. Erosion in geomorphologic facies and its relation with drainage density in Sarvlayt watershed. Pasture and watershed Journal of Tehran University (Natural Resources Journal of Iran), 4: 1097-1085 (In Persian).
2. Alijanpour Shelmani, A. and A.R. Vaezi. 2017. Physical Factors Determining Runoff Coefficient in the Watersheds of Ardabil Province. Journal of Water and Soil Science, 27(3): 1-14 (In Persian).
3. Azarakhshi, M., P. Farzi, A. Rasoulzadeh and M. Bashiri. 2015. The effect of geological and slope units on runoff and sediment production using the rain simulator (Case Study: Poplar Basin, Torbat Heydarieh), Journal of Natural Resources of Iran Volume 69, Issue 2, Summer 95 (In Persian).
4. Feiznia, S. 1995. Resistance to erosion of rocks in different climates of Iran, Iranian Journal of Natural Resources, Issue 47(116): 95.
5. Germanoski, D., S. Hardy and J. Wilson. 2012. Comparison of drainage density in carbonate VS Shale/Slate, eastern pennsylania. Spring specialty conferece New Orleans, Louisiana.
6. Hellebrand, H., R. Vanden Bos, L. Hoffmann, J. Juilleret and L. Pfister. 2008. The potential of winter stormflow coefficients for hydrological regionalization purposes in poorly gauged basins of the middle Rhine region. Hydrological Sciences Journal, 53(4): 773-788.
7. Jafarzadeh Kitabani, K., A. Moini and H. Ahmadi. 2016. Investigation of the relationship between some soil and geomorphic variables with drainage density (Case study: four watersheds in Ardebil province). Journal of Soil and Water Resources Conservation (Scientific-Research), 6(1): 99-108.
8. Li, X., J. Niu, J. Li, B. Xie, Y. Han, J. Tia and Y. Zhang. 2012. Characteristics of runoff and sediment generation of forest vegetation on a hill slope by use of artificial rainfall apparatus. Journal of Forestry Research, 23(3): 419-424.
9. Mahdavi, M. 2015. Applied Hydrology, Volume 2, Fourth Edition, Tehran University Press. 437 pp.
10. Norbiato, D., M. Borga, R. Merz, G. Blöschl and A. Carton. 2009. Controls on event runoff coefficients in the eastern Italian Alps. Journal of Hydrology, 375(3): 312-325.
11. Pfister, L., J.F. Iffly, L. Hoffmann and J. Humbert. 2002. Use of regionalized stormflow coefficients with a view to hydroclimatological hazard mapping. Hydrological Sciences Journal, 47(3): 479-491.
12. Pfister, L., N. Martínez-Carreras, C. Hissler, J. Klaus, G.E. Carrer, M.K. Stewart and J.J. McDonnell. 2017. Bedrock geology controls on catchment storage, mixing, and release: A comparative analysis of 16 nested catchments. Hydrological Processes, 31(10):1828-1845.
13. Pirovan, H.R. and M. Shariat Jafari. 2013. A comprehensive methodology for determining the erosion of rock-science units with a view to Iran's geology. Engineering and Watershed Management, 200. 3-213 (In Persian).
14. Refahi, H. 1996. Water erosion and control. First edition, Tehran University Press, 672 pp. (In Persian).
15. Rezaei, H. and H. Omrani. 2017. Preparation of data bank for engineering properties of Iranian rocks. Research project, Golestan University (In Persian).
16. Saidian, H. and H.R. Moradi. 2013. Investigation of erosion and sediment in various uses on Aghajari deposits. Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Sciences, 17(64): 220-220 (In Persian).
17. Telvari, A. 2000. Flood Control. Gorgan University Press, 217 pp (In Persian).
18. Yamani, M. and M. Enayati. 2005. Relationship between geomorphological features of the basins and flood capability (flood data analysis by geomorphological comparisons of Fasand and Behjat Abad basins). Geographic research 47-54 (In Persian).
19. Zare, B. 1992. Factors affecting flooding in urban areas of Iran and methods to fight it. The first international conference on the study of natural disasters in urban areas, Department of Studies and Design of Tehran Municipality, (In Persian).

Investigating the Effects of Lithological Units on Runoff Coefficient (A Case Study of 18 Watersheds in Three Climatic Regions of the Iran)

Mohammad Izadi[1], Abdolreza Bahremand[2], Ali Mohammadian Behbahani[3], Chooghi Bairam Komaki[3] and Maryam Azarakhshi[4]

1 and 3- M.Sc. Student, Watershed Management Department and Assistant Professor of Watershed Management and Desert Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
(Corresponding author: abdolreza.bahremand@gmail.com)
4- Assistant Professor, Torbat Heydarieh University
Received: December 27, 2018 Accepted: February 9, 2020

Abstract

Geology is one of the most important factors in the production of runoff and sediment. Geological formations, on the one hand, control the topographic features of a domain, and on the other hand, control the soil and surface features of the earth which are considered to be the function of this organization. The purpose of this study was to compare the effects of Lithological units as the main factor in determining the volume of runoff production in watersheds. For this purpose, in the present study, 18 small watershed (the smallest area with an area of 17.2 km^2 and the largest one with 134.1 km^2) with a predominant lithology (as much as 70 percent of the study area is covered by the similar lithostratigraphic units) in three different climatic regions were analyzed based on the cumulative rainfall-runoff curves. The results of the study clearly indicate the significant effect of the Lithological units on the runoff coefficient, so that the watersheds with identical Lithological units have similar curves, and the watersheds with different Lithological units have different curves. Therefore, lithostratigraphic units with high porosity have high penetration and less runoff potential. For example, the Phyllithic areas in Khorasan Razavi have higher runoff potential than others, in fact, their porosities are less than those of andesitic and volcanic tuffs. The results also show a seasonal variation of runoff coefficient in the studied watersheds.

Keywords: Lithostratigraphic Units, Geological Formations, Runoff Coefficient, Rainfall-Runoff Cumulative Curve