

گزارش فنی

ارزیابی روش‌های استدلالی، SCS و سیپرس-کریک برای تعیین ضریب رواناب
حوضه‌های با مساحت کمتر از ۵۰ کیلومتر مربع استان مازندرانبهروز محسنی^{۱*}، هادی رزاقیان^۲، عبدالله درزی نفت‌چالی^۳ و اسماعیل نیکزاد^۴^۱ مربی، بخش علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه پیام نور، ^۲ استادیار، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و ^۴ کارشناس بخش GIS شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۷

چکیده

رواناب به‌عنوان یکی از مولفه‌های بیلان آب حوضه، اهمیت زیادی در آبخیزداری و مدیریت منابع آب دارد. برآورد مناسب میزان رواناب، مستلزم تعیین ضریب رواناب می‌باشد. در این پژوهش، ضریب رواناب با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله حوضه‌های تا مساحت ۵۰ کیلومتر مربع استان مازندران با استفاده از سه روش استدلالی، SCS و سیپرس-کریک برآورد شد. از نرم‌افزار GIS برای همپوشانی لایه‌ها و تحلیل اطلاعات حوضه استفاده شد. جدول چاو مبنای تناظر روش‌های مورد استفاده در این پژوهش قرار گرفت. روش استدلالی به‌دلیل عدم تناظر با جدول چاو و محاسبه ضریب رواناب کمتر از واقعیت در اکثر موارد، نتایج مطلوبی ارائه نداد. روش سیپرس-کریک به‌دلیل قرابت با روش SCS کارایی لازم را در برخی از حوضه‌ها نشان داد. میانگین ضریب رواناب معادل $C_{25}=0/37$ و $C_{50}=0/41$ بیانگر دقت بسیار بالای روش SCS نسبت به دو روش دیگر در این پژوهش می‌باشد. مطابق روش سازمان حفاظت خاک، کمترین و بیشترین ضریب رواناب با دوره بازگشت ۲۵ ساله به‌ترتیب مربوط به حوزه آبخیز چالکروود یک (۰/۰۶) و صفارود چهار (۰/۶۱) تعیین شد. کمترین و بیشترین ضریب رواناب با دوره بازگشت ۵۰ ساله نیز به‌ترتیب مربوط به حوزه آبخیز چالکروود یک (۰/۱) و صفارود چهار (۰/۶۵) برآورد شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از هر سه روش، حوضه‌های دارای بیشترین مساحت و کمترین شدت بارندگی، کمترین ضریب رواناب را دارا بودند.

واژه‌های کلیدی: بیلان آب، حوزه آبخیز، رواناب، مدیریت منابع، GIS

مقدمه

جریان‌های آب سطحی را از خود عبور دهند، مستلزم تعیین حداکثر دبی رواناب، حجم رواناب، حجم آب جاری شده و نیز توزیع زمانی دبی آب است. عوامل مؤثر بر رواناب را می‌توان به عوامل مربوط به بارندگی و عوامل مربوط به حوزه آبخیز تقسیم نمود. عوامل بارندگی عبارتند از: مقدار، شدت و مدت بارندگی. عوامل حوزه آبخیز نیز عبارتند از: اندازه و شکل حوضه، جهت حوضه، پستی و بلندی، وضعیت زمین-شناسی و پوشش گیاهی سطح حوضه. تخمین و

تعیین مقدار رواناب در یک حوزه آبخیز از این نظر اهمیت دارد که به‌علت فقدان یا ناکافی بودن داده‌های آب‌سنجی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارقام یا کمیت‌هایی که نمایانگر مقدار آبدی حوضه‌های بالادست آن‌ها باشد، در دست نیست. رواناب سطحی به آن قسمت از بارندگی اطلاق می‌شود که روی زمین به طرف آبراهه‌ها، دریاچه‌ها یا دریاها به جریان می‌افتد. طراحی کانال‌ها یا سازه‌هایی که بتوانند

* مسئول مکاتبات: mohseni_m@pnu.ac.ir

مسکونی و کاهش اراضی جنگلی، باعث افزایش ضریب رواناب و دبی اوج سیلاب شد (Yari و همکاران، ۲۰۱۰). تأثیر پوشش گیاهی و چرا روی نفوذ آب و میزان رواناب در اراضی مرتعی به‌وسیله تعدادی از محققان نیز بررسی شد و نتایج به‌دست آمده مشخص نمود که قرق اراضی و متعاقب آن افزایش پوشش گیاهی سبب کاهش ضریب رواناب می‌شود (Busby و Gifford، ۱۹۸۱).

کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای در برآورد رواناب از طریق شماره منحنی به طور گسترده در یک حوزه آبخیز منطقه ولز بریتانیا مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت مدلی جهت ترکیب ویژگی‌های توپوگرافی، GIS، RS و فرایندهای هیدرولوژیکی ارائه شد (Drayton و همکاران، ۱۹۹۲). کسی که اولین بار رابطه بارندگی و رواناب را به‌طور تجربی و در قالب هیدروگراف واحد پیشنهاد نمود، شرم‌ن بود (Sherman، ۱۹۴۹). به‌دنبال این مطالعات، سرویس حفاظت خاک آمریکا (۱۹۵۴)، روشی را برای محاسبه بارش مازاد (رواناب سطحی) ارائه نمود که به روش شماره منحنی (CN) موسوم گشت.

روش شماره منحنی در برآورد سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه کارون شمالی بررسی شد. نتایج حاصله نشان داد، با افزایش مساحت حوضه‌ها، ضریب همبستگی بین دبی‌های مشاهده‌ای و برآوردی کاهش می‌یابد، به‌طوری که برای حوضه‌های بیرگان، فارسان، بازفت و شهرکرد ضریب همبستگی بین دبی‌های مشاهده‌ای و برآوردی به ترتیب ۹۵، ۹۱، ۷۵ و ۶۹ درصد به‌دست آمد. همچنین، نتایج حاصل از آزمون t نشان داد که در حوضه‌های بیرگان، فارسان و بازفت اختلاف معنی‌داری بین دبی‌های مشاهده‌ای و برآوردی وجود ندارد، ولی در حوضه شهرکرد این اختلاف معنی‌دار می‌باشد. همچنین تجزیه و تحلیل سیل‌های حادث شده نشان داد که همبستگی بالایی بین دبی‌های مشاهده‌ای وجود دارد (Akhondi، ۲۰۰۱).

بررسی تغییرات ضریب رواناب و سطح پوشش جنگلی حوزه آبخیز کسلیان نتیجه داد که کاهش پوشش جنگلی حوضه در ۱۵ تا ۲۰ سال گذشته باعث افزایش ضریب رواناب از ۱۰ به ۱۵ درصد شد

پیش‌بینی رواناب و دبی سیلاب یکی از عوامل مهم و مؤثر در مدیریت بهینه منابع آب است (Khosroshahi، ۱۹۹۸).

یکی از پارامترهای اساسی در برآورد رواناب، ضریب رواناب است. این ضریب با در برداشتن پارامترهایی چون بارندگی و ارتفاع رواناب حاصل از روش‌های مختلف، قابل پیش‌بینی است. برای برآورد رواناب سطحی، روش‌های مختلفی وجود دارد. از جمله این روش‌ها، برآورد رواناب سطحی با استفاده از نفوذپذیری خاک، روش استدلالی، روش‌های تجربی (روش مبتنی بر سطح حوضه، روش کریگر، رابطه دیکن، منحنی پوش، رابطه تجربی فولر و روش کوک) و روش شماره منحنی (CN) یا روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) می‌باشد.

در پژوهشی در حوزه آبخیز قلعه شاهرخ پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، شماره منحنی و ضریب رواناب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، در سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۶۹ و ۱۳۸۱، نتایج نشان داد که طی این سال‌ها بیشترین تغییر کاربری مربوط به تبدیل مراتع به دیم‌زارها و اراضی زراعی آبی است. میانگین‌های وزنی CN و C حوزه آبخیز مربوطه در این سال‌ها به ترتیب ۸۵/۹ و ۰/۵۵ (سال ۵۴)، ۸۷ و ۰/۵۸ (سال ۶۹) و ۸۷/۲ و ۰/۶ (سال ۸۱) به‌دست آمد. همچنین، از سال ۵۹ تا ۶۹ میزان افزایش ارتفاع رواناب به‌طور متوسط ۰/۲۵ و از سال ۶۹ تا ۸۱، ۰/۰۷۵ میلی‌متر در سال محاسبه شد (Barati و همکاران، ۲۰۱۱).

بررسی رواناب ناشی از سیل در حوزه آبخیز قره‌چای با استفاده از روش SCS و کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه رواناب‌های بخشی از حوضه قره‌چای، از طریق تعیین بارش مازاد به‌منظور پیش‌بینی حجم آب قابل استحصال و برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب منطقه بررسی، رواناب‌های منطقه، هفت طبقه عمق جریان انتخاب شد و احتمال وقوع هر یک از طبقه‌ها برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله محاسبه شد (Maryanaji و Marofi، ۲۰۰۵).

بررسی تأثیر کاربری اراضی بر ضریب رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف در حوزه آبخیز النگ دره گرگان نشان داد که افزایش ۱۳ درصدی اراضی

این جدول نیز با خطای زیادی همراه است. برای مناطق شهری، مقدار واقعی این ضریب کمتر از مقادیر مندرج در جداول است (Rahro Esfahani, ۱۹۹۷). در منطقه جنوب شرقی ایالت نیوساوت و تیل (منطقه مرکزی استرالیا)، روش استدلالی توسعه یافته اجرا شد و ضریب رواناب برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه و سپس منحنی‌های هم ضریب رواناب برای منطقه رسم شد (Pilgrim و McDermott, ۱۹۸۲).

برآورد سیلاب با روش مدل مخزن ساده و مقایسه آن با روش سیپرس-کریک نتیجه داد که برای محاسبه حجم سیلاب بهتر است از روش سیپرس-کریک و برای محاسبه دبی پیک از روش مدل مخزن ساده استفاده شود (Hedayatinia و Kamanbedast, ۲۰۰۹). استفاده از مدل‌های تجربی به‌منظور برآورد ضریب رواناب از دیرباز در مطالعات هیدرولوژی مورد توجه قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش انتخاب مناسب‌ترین روش‌های تجربی به‌کار گرفته شده در حوضه‌های کوچک در تعیین عامل ضریب رواناب به‌عنوان عامل مؤثر بر سیل‌خیزی در استان مازندران می‌باشد. لذا برای حصول هدف مذکور، در پژوهش حاضر از سه روش شماره منحنی (CN)، استدلالی و روش سیپرس-کریک (مبتنی بر روش CN) برای پیش‌بینی ضریب رواناب برای دو دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله حوضه‌های آبخیز استان مازندران که مساحت آن‌ها کمتر از ۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در دستیابی به اطلاعات جهت حصول نتایج مورد نظر، مطالعات کتابخانه‌ای متعددی از جمله؛ جمع‌آوری و بررسی اطلاعات مختلف بارش و دبی‌های مربوط به آمار مشاهده‌ای ایستگاه‌های منطقه (سال‌های آماری، ایستگاه‌های هواشناسی، ایستگاه‌های هیدرومتری و ...)، مطالعه و تنظیم برخی از ویژگی‌های مورد نیاز منطقه مورد مطالعه، بازسازی نواقص آماری به‌کمک روابط رگرسیونی بین ایستگاه‌ها صورت گرفت. همچنین، در تهیه و تحلیل نقشه‌ها و اطلاعات پایه مورد نیاز با تکنیک GIS، اقدام به تهیه

(Sadeghi, ۱۹۹۵). عایق کردن سطح سامانه‌های آبخیز روی خاک لومی رسی یا سیلتی لومی نتیجه داد که میزان ضریب رواناب به شدت افزایش یافته و به میزان ۷/۸ برابر رسید. این افزایش رواناب موجب جلوگیری از جذب و ماندگاری نقطه‌ای بارش شده و در نتیجه از تبخیر سطحی از سطح خاک جلوگیری می‌کند. در صورتی که پای سامانه‌ها فاقد چاله جمع‌کننده رواناب باشد، به مراتب خسارات فراوانی از جمله فرسایش و رسوب را به همراه خواهد داشت (Hosseini, ۲۰۱۵).

نقش مدیریت پوشش گیاهی بر میزان رواناب سطحی حوزه آبخیز کچیک استان گلستان بررسی شد. نتایج حاصل از بررسی پارامترها برای هر یک از زیر حوضه‌ها نشان داد که مؤلفه‌های پوشش گیاهی در سطح پنج درصد در مقایسه با شاهد دارای اختلاف معنی‌داری است (Hemmatzadeh و همکاران، ۲۰۰۹). تخمین ضرایب رواناب برای تعدادی از حوزه‌های آبخیز دریای مازندران و محاسبه ضرایب رواناب با دوره بازگشت‌های دو، پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و رسم منحنی‌های هم ضریب رواناب نتیجه داد که مقادیر ضریب رواناب به‌دست آمده کمتر از مقادیر داده شده در جداول تجربی است. همچنین با افزایش دوره بازگشت، ضریب رواناب افزایش می‌یابد و کاربرد مقادیر به‌دست آمده ضرایب رواناب در سه حوزه آبخیز منطقه نشان داد که با استفاده از منحنی‌های هم ضریب رواناب می‌توان، دبی‌های حداکثر لحظه‌ای را با دقت بهتری تخمین زد (Jamshidnejad Anbarani, ۱۹۹۸).

میزان رواناب با استفاده از روش SCS و GIS در حوزه آبخیز قلعه‌چای آذربایجان شرقی برآورد شد. نتایج این پژوهش نشان از حصول اطمینان این روش برای برآورد رواناب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Panahi و Mohammadi, ۲۰۰۶). تعیین پارامتر C (ضریب رواناب) یکی از مشکلات روش استدلالی یا منطقی است که معمولاً از جداول مندرج در کتب هیدرولوژی استفاده می‌شود. یکی از کامل‌ترین این جداول را Chow و همکاران (۱۹۸۸) ارائه نمودند که ضریب جریان را تابعی از نوع استفاده از اراضی، شیب و دوره بازگشت دانستند. ضریب رواناب گرفته شده از

انتخاب شدند که حوضه‌های خلیج گرگان، نکارود، دارابکلا، تجن، بابل‌رود، هراز، چالوس، چشمه‌کیله، چالکرو، پلنگ‌آبرود، شیروود و صفارود در این محدوده قرار دارند. همچنین، این انتخاب با توجه به سوابق مطالعاتی و پژوهش‌هایی که در گذشته انجام شد، برای حوضه‌هایی که دارای اطلاعات دقیق و جامع از لحاظ فیزیوگرافی و هواشناسی و هیدرولوژی بودند، صورت پذیرفت.

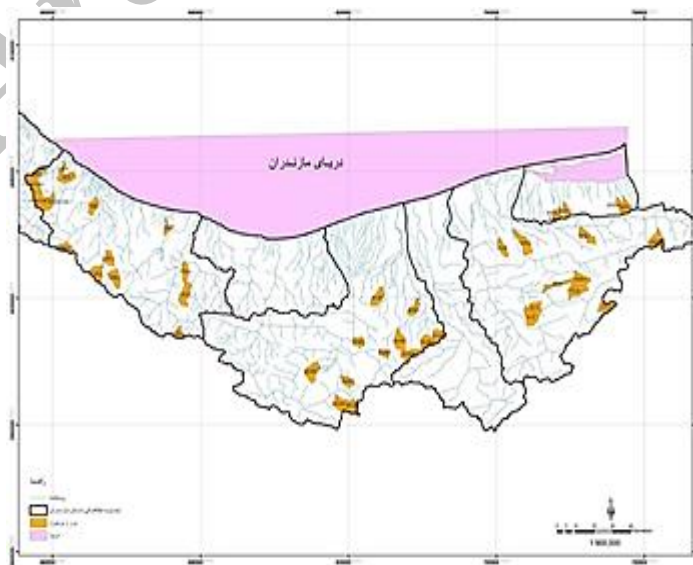
در نهایت ۴۴ زیرحوضه که پراکنش خوبی از لحاظ جغرافیایی (از شرق تا غرب مازندران) دارا بودند، انتخاب شدند که موقعیت هر یک از حوضه‌ها در شکل ۱ جانمایی شده است. حوضه‌های مورد مطالعه و مشخصات فیزیوگرافی آن‌ها در جدول ۱ ارائه شد (Tamab, ۱۹۹۶).

روش‌های تعیین ضریب رواناب: ضریب رواناب سطحی، نسبتی از ارتفاع بارندگی است که در سطح زمین جریان می‌یابد و به عواملی همچون شدت نفوذپذیری خاک، ذخیره چلابی، تراکم پوشش گیاهی، شدت بارندگی و شیب زمین بستگی دارد. رایج‌ترین روش محاسبه دبی اوج رواناب سطحی در حوضه‌های کوچک، روش منطقی یا استدلالی است. حداکثر میزان رواناب زمانی حاصل می‌شود که دوره بارندگی معادل با زمان تمرکز در حوزه آبخیز باشد. این مفهوم را از نظر ریاضی می‌توان به شرح زیر و به‌عنوان رابطه استدلالی یا منطقی ارائه نمود.

نقشه کاربری اراضی، نقشه زیر حوزه‌های مورد مطالعه، برآورد مساحت و محیط زیرحوضه‌ها و غیره شد.

منطقه مورد پژوهش: استان مازندران در مختصات جغرافیایی $35^{\circ} 47'$ تا $36^{\circ} 35'$ عرض شمالی و $34^{\circ} 50'$ طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. این استان در قسمت شمال مرکزی کشور واقع شد و از شمال به دریای مازندران، از جنوب به استان‌های تهران و سمنان، از غرب و جنوب غربی به گیلان و قزوین و از شرق به استان گلستان محدود است. آب و هوای این استان بر اساس خصوصیات دما و بارش و توپوگرافی، به دو نوع آب و هوای معتدل خزری و کوهستانی (معتدل و سرد) تقسیم می‌شود. موقعیت جغرافیایی ویژه استان مازندران به‌عنوان یکی از استان‌های ساحلی دریای خزر سبب شد که در طول سال از اثرات آب و هوایی همسایگانی چون سرزمین پهناور سیبری، دریای مدیترانه و دریای خزر و فلات مرکزی ایران بهره‌مند شود.

بر اساس طبقه‌بندی دمارتن، نواحی غربی مازندران بسیار مرطوب، نواحی مرکزی مرطوب، نواحی شرقی مدیترانه‌ای و نواحی کوهستانی مازندران نیمه مرطوب می‌باشد. پژوهش حاضر در سطح استان مازندران به‌عنوان اولین حوزه آبخیز از شش حوزه آبخیز اصلی ایران بر اساس مساحت حوضه‌ها انجام شد. حوضه‌هایی که مساحت آن‌ها کمتر از ۵۰ کیلومتر مربع در استان مازندران هستند، برای این مطالعه



شکل ۱- موقعیت حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در استان مازندران (Mohseni و همکاران، ۲۰۱۵)

جدول ۱- مشخصات فیزیکی (محیط و مساحت) حوزه‌های مورد مطالعه

| زیرحوضه | کد ایستگاه | ایستگاه/رودخانه | مساحت (km ²) | محیط (km ²) | زیر حوزه | کد ایستگاه | ایستگاه/رودخانه | مساحت (km ²) | محیط (km ²) |
|-------------|------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|------------|------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| بابلرود ۱ | ۱۴-۰۱۱ | قرآن تالار-بابلرود | ۲۹/۳۴ | ۳۱/۲۲ | هراز ۵ | ۱۵-۰۱۱ | پنجاب-هراز | ۲۵/۰۲ | ۲۰/۵۱ |
| بابلرود ۲ | ۱۴-۰۱۱ | قرآن تالار-بابلرود | ۳۲/۷۱ | ۲۴/۱۸ | خلیج ۱ | ۱۲-۸۷۵ | علی تپه-عباس آباد | ۱۱/۶۹ | ۱۴/۶۹ |
| بابلرود ۳ | ۱۴-۰۷۱ | پاشاکلا-بابلرود | ۳۸/۹۴ | ۲۹/۹۶ | خلیج ۲ | ۱۲-۰۲۸ | تازه‌آباد-پاسند | ۲۰/۵۲ | ۱۹/۵۵ |
| بابلرود ۴ | ۱۴-۰۷۱ | پاشاکلا-بابلرود | ۴۰/۴۶ | ۳۲/۷۰ | خلیج ۳ | ۱۲-۸۷۵ | علی تپه-عباس آباد | ۱۲/۶۲ | ۱۵/۷۹ |
| بابلرود ۵ | ۱۴-۰۷۱ | پاشاکلا-بابلرود | ۴۶/۰۸ | ۳۰/۲۸ | خلیج ۴ | ۱۳-۰۰۱ | بارکلا-نکا | ۱۸/۱۸ | ۲۰/۴۶ |
| بابلرود ۶ | ۱۴-۰۱۳ | گلوگاه بندبی-سجادرود | ۱۷/۵۲ | ۱۹/۵۸ | خلیج ۵ | ۱۳-۰۰۱ | بارکلا-نکا | ۲۴/۸۰ | ۲۴ |
| بابلرود ۷ | ۱۴-۰۱۳ | گلوگاه بندبی-سجادرود | ۴۰/۵۲ | ۳۲/۳۲ | نکا ۱ | ۱۳-۰۰۵ | سفیدچاه-نکارود | ۳۷/۶۶ | ۳۲/۲۵ |
| چالوس ۱ | ۱۵۶-۰۲۱ | پل ذغال-چالوس | ۲۸/۴۸ | ۲۴/۸۵ | نکا ۲ | ۱۳-۰۰۵ | سفیدچاه-نکارود | ۴۹/۲۷ | ۳۱/۷۲ |
| چالوس ۲ | ۱۶-۰۷۹ | پل مرگن-زنگوله | ۴۷/۴۰ | ۳۲/۲۳ | نکا ۳ | ۱۳-۰۱۳ | آیلو-نکارود | ۵۰/۷۳ | ۳۸/۲۵ |
| چالوس ۳ | ۱۶-۰۷۹ | پل مرگن-زنگوله | ۲۰/۳۷ | ۱۹/۶۲ | نکا ۴ | ۱۳-۰۲۳ | کیاسر-نکارود | ۴۶/۳۹ | ۳۲/۸۲ |
| چالکرو ۱ | ۱۶-۱۵۵ | گرسپارسر-چالکرو | ۳۲/۳۲ | ۲۴/۸۵ | نکارود | ۱۶-۲۲۲ | میجران-نکارود | ۳۲/۵۸ | ۲۶/۱۵ |
| چالکرو ۲ | ۱۶-۱۵۵ | گرسپارسر-چالکرو | ۴۲/۶۰ | ۳۰/۸۷ | پلنگ‌آبرود | ۱۶-۰۲۹ | چارز-پلنگ‌آبرود | ۱۸/۷۱ | ۲۵/۴۸ |
| چالکرو ۳ | ۱۶-۱۵۷ | گاورمک-سیمرود | ۴۰/۲۰ | ۳۰/۲۳ | صفاورد ۱ | ۱۶-۱۵۷ | گاورمک-صفاورد | ۱۱/۹۹ | ۱۷/۱۹ |
| چشمه کیله ۱ | ۱۶-۰۴۱ | هراتیر-چشمه کیله | ۳۷/۹۸ | ۲۷/۸۳ | صفاورد ۲ | ۱۶-۱۵۷ | گاورمک-صفاورد | ۷/۶۳ | ۱۷/۳۷ |
| چشمه کیله ۲ | ۱۶-۰۴۱ | هراتیر-چشمه کیله | ۴۲/۲۹ | ۲۸/۱۳ | صفاورد ۳ | ۱۶-۱۵۷ | گاورمک-صفاورد | ۷/۱۳ | ۱۱/۰۷ |
| چشمه کیله ۳ | ۱۶-۰۴۱ | هراتیر-چشمه کیله | ۲۹/۹۶ | ۲۴/۶۱ | صفاورد ۴ | ۱۶-۱۶۳ | زرودک-مدکوه | ۱۳/۱۳ | ۱۷/۲۹ |
| چشمه کیله ۴ | ۱۶-۰۴۱ | هراتیر-چشمه کیله | ۳۱/۸۱ | ۲۶/۳۶ | شیرود | ۱۶-۵۰۹ | پلطان-شیرود | ۳۱/۳۷ | ۲۴/۱۳ |
| دارابکلا | ۱۳-۰۱۷ | دارابکلا-دارابکلا | ۲۷/۵۷ | ۲۳/۹۶ | تجن ۱ | ۱۳-۰۲۶ | پروریج آباد-تجن | ۴۴/۲۵ | ۳۲/۲۶ |
| هراز ۱ | ۱۵-۰۲۷ | چلاو-هراز | ۳۵/۶۵ | ۳۰/۸۲ | تجن ۲ | ۱۳-۰۲۳ | کیاسر-تجن | ۴۰/۵۸ | ۳۱/۱۳ |
| هراز ۲ | ۱۵-۰۲۷ | چلاو-هراز | ۴۳/۰۸ | ۳۰/۴۲ | تجن ۳ | ۱۳-۰۲۳ | کیاسر-تجن | ۳۰/۹۹ | ۴۳/۷۴ |
| هراز ۳ | ۱۵-۰۱۱ | پنجاب-هراز | ۲۶/۵۱ | ۲۳/۵۳ | تجن ۴ | ۱۳-۰۲۳ | کیاسر-تجن | ۴۴/۹۲ | ۳۳/۸۱ |
| هراز ۴ | ۱۵-۰۰۹ | نمارستاق-هراز | ۵۰/۱۴ | ۳۱/۰۷ | تجن ۵ | ۱۳-۰۲۶ | پروریج آباد-تجن | ۳۴/۰۷ | ۲۷/۹۳ |

مستقیمی دارد و تابعی از میزان نفوذ سطحی در حوزه آبخیز است. جدول ۲ ضرایب رواناب برای کاربرد در معادله استدلالی را ارائه می‌کند (Mahdavi, ۲۰۰۵).

یکی از عوامل مورد نیاز جهت برآورد شدت و مقدار بارندگی‌های کوتاه‌مدت در روش مذکور، حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (P_{24}) می‌باشد. بدین منظور در این تحقیق از آمار موجود دارای حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته ایستگاه‌های داخل و یا خارج محدوده مورد مطالعه، از جمله ایستگاه‌های هواشناسی بارکلا، پیچیم، پروریج‌آباد، پنجاب، گزنک، سکرانچال، دیزان، نمارستاق، رامسر، کلارآباد، محوطه بهشهر، پایین-زرندين، گلورد، جفاکنده، گانگسر، هراتیر، زردک و پل ذغال جهت محاسبه P_{24} استفاده شد.

$$Q_p = \frac{1}{360} C.I.A \quad (1)$$

که در آن، Q_p حداکثر میزان رواناب یا دبی اوج سیل (متر مکعب در ثانیه) با دوره بازگشتی برابر با دوره بازگشت رگبار، C ضریب رواناب (بدون بعد، مثبت و کوچک‌تر از واحد) ثابت در طول بارش، I حداکثر شدت بارندگی در زمان تمرکز (میلی‌متر بر ساعت) و A مساحت اراضی حوزه آبخیز (هکتار) می‌باشد.

کلیه عواملی که بر رواناب سطحی مؤثر هستند، به‌جز موارد مرتبط با مساحت حوزه آبخیز (A) و شدت بارندگی (I)، در مقدار ضریب رواناب (C) در نظر گرفته می‌شوند. ضریب رواناب با شدت بارندگی رابطه

جدول ۲- ضرایب رواناب سطحی در معادله استدلالی (c) (Chow و همکاران، ۱۹۹۸)

| دوره بازگشت (سال) | | | | | | | مشخصات سطح | |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|---------------|--------------------------|
| ۵۰۰ | ۱۰۰ | ۵۰ | ۲۵ | ۱۰ | ۵ | ۲ | | |
| ۰/۵۷ | ۰/۴۷ | ۰/۴۳ | ۰/۴۰ | ۰/۳۶ | ۰/۳۴ | ۰/۳۱ | اراضی کشاورزی | شیب کم (۲-۰ درصد) |
| ۰/۶۰ | ۰/۵۱ | ۰/۴۸ | ۰/۴۴ | ۰/۴۱ | ۰/۳۸ | ۰/۳۵ | | شیب متوسط (۷-۲ درصد) |
| ۰/۶۱ | ۰/۵۴ | ۰/۵۱ | ۰/۴۸ | ۰/۴۴ | ۰/۴۲ | ۰/۳۹ | | شیب زیاد (بیش از ۷ درصد) |
| ۰/۵۳ | ۰/۴۱ | ۰/۳۷ | ۰/۳۴ | ۰/۳۰ | ۰/۲۸ | ۰/۲۵ | مرتع | شیب کم (۲-۰ درصد) |
| ۰/۵۸ | ۰/۴۹ | ۰/۴۵ | ۰/۴۲ | ۰/۳۸ | ۰/۳۶ | ۰/۳۳ | | شیب متوسط (۷-۲ درصد) |
| ۰/۶۰ | ۰/۵۳ | ۰/۴۹ | ۰/۴۶ | ۰/۴۲ | ۰/۴۰ | ۰/۳۷ | | شیب زیاد (بیش از ۷ درصد) |
| ۰/۴۸ | ۰/۳۹ | ۰/۳۵ | ۰/۳۱ | ۰/۲۸ | ۰/۲۵ | ۰/۲۲ | جنگل | شیب کم (۲-۰ درصد) |
| ۰/۵۶ | ۰/۴۷ | ۰/۴۲ | ۰/۴۰ | ۰/۳۶ | ۰/۳۴ | ۰/۳۱ | | شیب متوسط (۷-۲ درصد) |
| ۰/۵۸ | ۰/۵۲ | ۰/۴۸ | ۰/۴۵ | ۰/۴۱ | ۰/۳۹ | ۰/۳۵ | | شیب زیاد (بیش از ۷ درصد) |

روابط (۵) و (۶) برای تعیین شدت نهایی بارندگی مورد استفاده قرار گرفت (Razzaghiان، ۲۰۰۴).

$$T=25 \rightarrow y=3.21 \Rightarrow x=\bar{x}+2.05 s \quad (5)$$

$$T=50 \rightarrow y=3.91 \Rightarrow x=\bar{x}+2.6 s \quad (6)$$

پارامترهای این معادله‌ها همانند روابط قبلی‌اند. دومین روش مورد استفاده در این پژوهش، روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است که یکی از راه‌های تخمین دبی اوج رواناب می‌باشد. در این روش به جای ضریب رواناب که در معادله استدلالی استفاده می‌شد، از شماره منحنی (CN) استفاده می‌شود. ابتدا مقدار شماره منحنی از روی مشخصات گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، میزان پوشش گیاهی، کاربری اراضی و میزان رطوبت پیشین خاک محاسبه و سپس از روی آن میزان تلفات آب (S) ناشی از ذخایر چلابی محاسبه می‌شود.

محاسبه ارتفاع بارش با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله از رابطه (۷) صورت گرفت، سپس با برآورد CN در محیط GIS برای تک‌تک حوضه‌ها و قراردادن آن در رابطه (۸) مقدار S برآورد شد. در مرحله بعد با توجه به رابطه اصلی روش SCS (رابطه ۹)، میزان ارتفاع رواناب ناشی از بارش محاسبه شد و در نهایت از تقسیم میزان ارتفاع رواناب به بارش، میزان ضریب رواناب (C) برآورد شد (رابطه ۱۰). اصولاً این روش وقتی رواناب، ناشی از بارندگی باشد معتبر خواهد بود و موقعی که برف‌آب باشد، کارایی ندارد (Khojini، ۱۹۹۸).

$$P_T^60 = [0.4524 + 0.2471 \ln(T - 0.6000)](0.3710 + 0.6184t^{0.4484})P_{10}^{60}, \quad P_{10}^{60} = 2.26 \times P_{24}^{1.1374} \bar{P}^{-0.3072} \quad (7)$$

پس از محاسبه P_{24} ، با استفاده از معادله زیر، مقدار بارندگی برای پایه زمانی مورد نظر (میلی‌متر) محاسبه شد (Movahed Danesh، ۱۹۸۷):

$$P_T = 0.489 P_{24} T^{0.225} \quad (2)$$

که در آن، P_T مقدار بارندگی برای پایه زمانی مورد نظر (میلی‌متر)، P_{24} حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (میلی‌متر) و T پایه زمانی مورد نظر (زمان تمرکز) بر حسب ساعت است.

سپس با استفاده از توزیع آماری گمبل (مقادیر حد نوع یک)، مقادیر بیشینه شدت بارندگی (I) برای هر پایه زمانی، برای دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله با استفاده از معادلات (۳) و (۴) به دست آمد.

$$x = \bar{x} + s(0.78 y - 0.45) \quad (3)$$

$$y = -\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})) \quad (4)$$

که در آن‌ها، T دوره بازگشت (سال)، y متغیر کوچک شده، s انحراف معیار نمونه در متغیرهای مشاهده‌ای، \bar{x} میانگین متغیرهای مشاهده شده و x مقدار متغیر به ازای احتمال مورد نظر $(I_{25,50})$ می‌باشند.

برای استفاده از توزیع آماری گمبل، ابتدا میانگین و انحراف معیار شدت بارندگی برای دوره آماری و برای هر پایه زمانی به دست آمد. سپس، مقدار y با توجه به دوره بازگشت تعیین و معادله مورد استفاده برای هر دوره بازگشت محاسبه شد. طبق محاسبات انجام شده

بعد از انجام مراحل فوق و محاسبه ضریب رواناب سطحی با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله، با صحت‌سنجی و تطبیق داده‌های محاسباتی با کمک روش‌های فوق‌الذکر نسبت به حوضه‌های مشابه‌ای که دارای آمار هستند اقدام به کالیبراسیون در سطح حوضه‌های مورد نظر شد و نتایج حاصل از این تحقیق در تناظر با جدول چاو، ارزیابی و واسنجی شد.

نتایج و بحث

روش‌هایی که در این پژوهش برای تعیین ضریب رواناب استفاده شد، شامل سه روش منطقی یا استدلالی، SCS و سیپرس-کریک می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته در این زمینه، جدول Chow معیار ارزیابی این روش‌ها محسوب می‌شود (جدول ۲). این جدول بیان می‌کند که تعیین ضریب رواناب بسته به نوع کاربری، شیب منطقه و دوره بازگشت می‌تواند متفاوت باشد. نتایج محاسبه شده مقادیر ضریب رواناب که به‌وسیله اولین روش (استدلالی) در جدول ۳ ارائه شد، بیانگر این است که مطابق آنچه در جدول چاو برای آستین تگزاس در آمریکا تهیه شد و کمترین مقدار ضریب رواناب ۰/۲۱ گزارش شد، در این پژوهش ضرایب به‌دست آمده بر اساس روش استدلالی در بخش کثیری از ایستگاه‌ها، در تناظر با جدول مذکور، کمتر از ۰/۱ به‌دست آمد و به‌دلیل عدم تناظر با جدول چاو حذف شدند. اما در برخی از حوضه‌ها، و با توجه به این‌که اکثریت منطقه مورد مطالعه دارای میانگین شیب دو تا هفت درصد با کاربری جنگل و مرتع می‌باشند (شکل ۲)، میانگین ضریب رواناب اندازه‌گیری شده برای دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله (۰/۳۴ و ۰/۳۶) در تناظر با جدول چاو گویای صحت نتایج است. از طرفی به‌دلیل این‌که روش استدلالی فقط در تعداد محدودی از حوضه‌ها، برآورد قابل قبولی داشت، در تمام سطح استان نمی‌توان از این روش بهره گرفت. لذا تفاوت بین این ضرایب با کمترین مقدار ضریب رواناب حاصله از جدول چاو، بیان‌کننده این مطلب است که در هر منطقه بایستی ضرایب رواناب خاص آن منطقه با سطح احتمال مورد نظر تهیه و مورد استفاده ارگان‌ها و نهادهای ذیربط قرار گیرد.

که در آن، t تداوم بارندگی (ساعت)، T دوره بازگشت (سال)، P_{10}^{60} بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ سال (میلی‌متر)، P_{24} و \bar{P} متوسط بارندگی حداکثر روزانه و متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) می‌باشد.

$$CN = \frac{1000}{10+S} \quad \text{یا} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (8)$$

$$Q = R_e = P_n = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (9)$$

$$C = \frac{R_e}{P} \quad (10)$$

که در آن‌ها، R_e ارتفاع رواناب، C ضریب رواناب، P ارتفاع بارش و S تلفات اولیه می‌باشد.

سومین روشی که برای پیش‌بینی ضریب رواناب در این پژوهش به‌کار گرفته شد، روش سیپرس-کریک می‌باشد. این روش نیز توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا، برای حوضه‌های مسطح که شیب آن‌ها کمتر از یک تا ۵/۰ درصد و اندازه حوضه نیز از ۵۰۰۰ هکتار (۵۰ کیلومتر مربع) کمتر باشد، پیشنهاد شد. فرضیات برقراری این روش همانند روش استدلالی است. رابطه اصلی آن به‌صورت زیر است (Najmaei, ۱۹۹۰).

$$Q_p = CA^{0.833} \quad (11)$$

که در آن، Q_p دبی طراحی (متر مکعب بر ثانیه)، A مساحت حوضه (کیلومتر مربع) و C ضریب جریان است که به ویژگی‌های گیاهی، نوع خاک و ارتفاع بارندگی بستگی دارد. این معادله شرایط هیدرولوژیکی و همچنین توجیحات اقتصادی را در نظر می‌گیرد. مقدار دبی طراحی بایستی با میزان دبی حداکثر اشتباه شود.

در شرایطی احتمال دارد که میزان دبی حداکثر از میزان دبی طراحی محاسبه شده زیادتر باشد. از طرفی در نقاط زیادی از کشور ایالات متحده آمریکا، مقادیر ضریب جریان که بایستی در معادله (۱۲) به‌کار رود، طی سالیان متمادی مشخص شده است. بعضی از پژوهشگران رابطه‌ای را برای مرتبط نمودن مقدار ضریب جریان با میزان بارندگی اضافی (ارتفاع رواناب) بشرح زیر ارائه نموده‌اند.

$$C = 0.21 + 0.0075R_e \quad (12)$$

که در آن، R_e میزان بارندگی مازاد حاصل از یک رگبار که بایستی آن را از مقدار بارندگی ۲۴ ساعته به-دست آورد (میلی‌متر) می‌باشد. R_e از روش SCS مطابق رابطه (۹)، محاسبه شد.

جدول ۳- مقادیر ضریب C اندازه گیری شده (با دو دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال) با روش استدلالی برای ایستگاه‌های مختلف

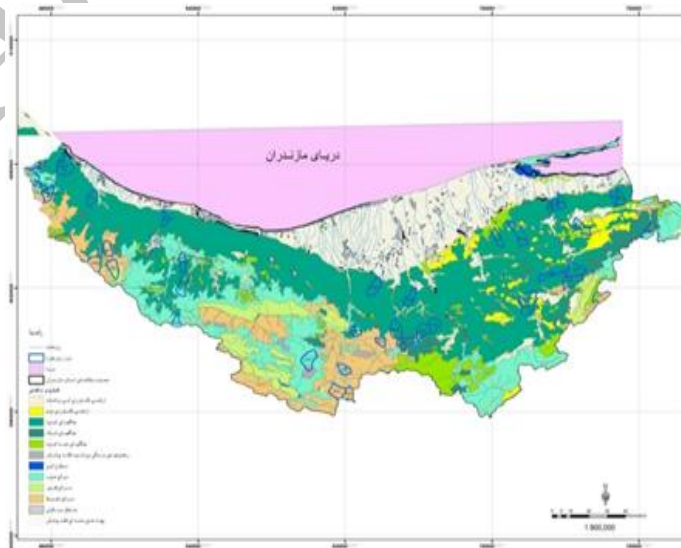
| کد ایستگاه | واحد هیدرولوژی (زیر حوضه) | ایستگاه هیدرومتری | C ₂₅ * | C ₅₀ ** |
|------------|---------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| ۱۴-۰۱۱ | بابرود ۱ | قرآن تالار | ۰/۴۳ | ۰/۴۵ |
| ۱۴-۰۱۱ | بابرود ۲ | قرآن تالار | ۰/۳۸ | ۰/۴ |
| ۱۵۶-۰۲۱ | چالوس ۱ | پل ذغال | ۰/۶۴ | ۰/۶۶ |
| ۱۶-۱۵۵ | چالکرو ۱ | گرسبارسر | ۰/۴ | ۰/۳۲ |
| ۱۶-۱۵۵ | چالکرو ۲ | گرسبارسر | ۰/۲۸ | ۰/۳ |
| ۱۶-۰۴۱ | چشمه کیله ۳ | هراتبر | ۰/۳۶ | ۰/۳۷ |
| ۱۶-۰۴۱ | چشمه کیله ۴ | هراتبر | ۰/۳۳ | ۰/۳۴ |
| ۱۵-۰۱۱ | هراز ۳ | پنجاب | ۰/۳۱ | ۰/۳۴ |
| ۱۵-۰۱۱ | هراز ۵ | پنجاب | ۰/۳۶ | ۰/۳۹ |
| ۱۲-۸۷۵ | خلیج ۱ | علی تپه | ۰/۳۱ | ۰/۳۴ |
| ۱۲-۸۷۵ | خلیج ۳ | علی تپه | ۰/۳۴ | ۰/۳۸ |
| ۱۳-۰۱۳ | نکا ۳ | آپلو | ۰/۱۷ | ۰/۱۹ |
| ۱۶-۱۵۷ | صفارود ۲ | گاورمک | ۰/۲۶ | ۰/۲۸ |
| ۱۶-۱۵۷ | صفارود ۳ | گاورمک | ۰/۳۰ | ۰/۳۱ |

* ضریب رواناب محاسبه شده با دوره بازگشت ۲۵ ساله و ** ضریب رواناب محاسبه شده با دوره بازگشت ۵۰ ساله

خود منجر به کاهش بیش از اندازه ضریب رواناب در دیگر حوزه‌های آبخیز، مشابه یافته‌های دیگر محققین از جمله Chow، ۱۹۸۸ و Jamshidnejad Anbarani (۱۹۹۸) شد.

طبق روش استدلالی، حوزه آبخیز نکا ۳ به دلیل دارا بودن بیشترین مساحت، کمترین ضریب رواناب را دارا می‌باشد و این نتیجه با پژوهش Jamshidnejad Anbarani (۱۹۹۸) مطابقت دارد، لذا می‌توان ضریب به‌دست آمده به‌وسیله این روش را برای حوزه‌های تعیین شده (جدول ۳) به‌کار گرفت.

در تعیین دبی ۲۵ و ۵۰ ساله، با افزایش شدت بارندگی در سطح حوضه‌ها میزان دبی نیز افزایش نشان داد (حتی با افزایش دوره بازگشت). بر اساس آنچه در شدت بارندگی‌ها لحاظ شد، در حوضه‌هایی که دارای حداقل شدت (چالکرو ۱) و یا حداکثر شدت (شیروود و صفارود چهار) هستند، مقادیر ضریب رواناب نیز به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. از طرفی به‌دلیل برخی از وقایع از جمله احداث سد در برخی از حوضه‌های مطالعاتی، میزان دبی ورودی به حوضه کاهش یافت که این امر



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه (Mohseni و همکاران، ۲۰۱۵)

روش، ضریب رواناب سطحی با دو دوره بازگشت مورد نظر، در حوزه‌های چالک‌رود یک دارای کمترین مقدار (کمتر از ۰/۱) و صفارود چهار دارای بیشترین مقدار (بیشتر از ۰/۶) است که این امر به دلیل دارا بودن حداقل و حداکثر شدت‌های بارندگی با دوره بازگشت‌های مورد نظر می‌باشد.

همچنین، در تمامی حوضه‌ها، مشاهده می‌شود که ضریب رواناب سطحی برای دوره بازگشت ۲۵ ساله کمتر از حوضه‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله است، این امر یعنی با افزایش دوره بازگشت میزان ضریب رواناب سطحی افزایش می‌یابد. حتی در حوضه‌های با دوره بازگشت یکسان به دلیل کاربری‌های متفاوت شاهد ضرایب متفاوتی از رواناب سطحی هستیم.

این یافته نیز با نتایج پژوهش Yari و همکاران (۲۰۱۰)، که اظهار داشته‌اند در یک دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله، ضریب رواناب همراه با افزایش شدت بارندگی و دبی اوج سیل، افزایش می‌یابد، مطابقت دارد. بنابراین می‌توان اذعان داشت که در دو روش سیپرس-کریک و SCS، ضریب رواناب قابل اطمینان هستند، به طوری که تعدد پارامترها در هر یک از این دو روش دقت آن‌ها را بالا می‌برد و می‌توان آن‌ها را با شرایط حوضه‌های مورد مطالعه تطبیق داد. لذا از بعد تخصصی می‌توان بیان نمود که تحلیل نقشه کاربری (شکل ۲) نشان می‌دهد، در حوضه‌های کوهستانی با رژیم بارشی برف، میزان ارتفاع رواناب (R) ناشی از بارندگی (P) کمتر خواهد بود.

بنابراین نسبت $C = \frac{R}{P}$ در این حوضه‌ها تناسب چندانی با میزان C به دست آمده در حوزه‌های آبخیز با حالت رژیم بارشی باران که دارای شرایط کاربری اراضی، شیب و نوع خاک یکسان با حوضه قبلی می‌باشد، نخواهد داشت. به عبارت دیگر در شرایط یکسان فیزیوگرافی و پوشش دو حوضه، حوضه با پوشش برف، دارای C کمتری نسبت به حوضه بدون پوشش برف خواهد بود. بر اساس این استدلال، می‌توان بیان نمود که روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، با دقت قابل توجه معرفی و در مورد حوزه‌های آبخیز تا ۵۰ کیلومتر مربع در سطح استان مازندران با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله قابلیت کاربرد دارد.

بر این اساس، میانگین ضرایبی که در نتیجه این دو روش برای شرایط کاربری‌های مختلف طبق جدول Chow (۱۹۸۸) (معیار اصلی برای سنجش این روش‌ها) به دست آمدند (۰/۵۳ و ۰/۳۷)، حاکی از آنست که از بین دو روش فوق، روش SCS، قرابت بیشتری نسبت به روش سیپرس-کریک با توجه به نوع کاربری موجود در منطقه در تطبیق با رواناب ناشی از طبیعت دارد. به طوری که در تمامی حوضه‌ها با افزایش دوره بازگشت، مقدار ضریب رواناب نیز افزایش نشان داد. از طرفی این افزایش مقدار ضریب رواناب وابسته به شدت بارش نیز می‌باشد و با افزایش دوره بازگشت شدت بارندگی‌ها نیز افزایش یافت.

نکته دیگر در مورد افزایش یا کاهش یکباره ضریب رواناب در برخی از حوضه‌ها، تغییرات CN در منطقه می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد، با توجه به اینکه غالب کاربری حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه جنگل و مرتع می‌باشد، می‌توان اذعان داشت که فشار چرای مفرط روی مراتع و دخالت‌های بیرویه انسان در عرصه‌های طبیعی و نهایتاً تغییر کاربری اراضی، مقدار این پارامتر (CN) را افزایش داد که خود منجر به کاهش نگهداشت سطحی و افزایش میزان ضریب رواناب سطحی در سطح حوضه‌های آبخیز شد. همچنین، شیب زیاد حوضه‌های آبخیز و افزایش سرعت آب با توجه به جدول شیب محاسباتی، افزایش ضریب رواناب را سبب شد. این نتیجه نیز با یافته‌های Barati و همکاران (۲۰۱۱) تطابق دارد. بنابراین روش شماره منحنی (SCS)، بر اساس آنچه در تناظر جدول Chow با جدول ۴ ذکر شد، روشی مناسب‌تر و دقیق‌تر در بین سایر روش‌هاست. این بدان علت است که CN محاسبه شده طبق لایه‌های اطلاعاتی در این روش، خود ویژگی پتانسیل رواناب در حوضه‌های مطالعاتی را بیان می‌کند.

از طرفی از آنجا که CN نقش زیادی در افزایش سیل‌خیزی حوضه‌ها دارد، بیشترین مقدار آن مربوط به حوزه آبخیز هراز سه (۳۰/۸۲) و کمترین آن مربوط به شیروود (۵۶/۰۷) می‌باشد که به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار دبی را نیز دارا می‌باشند. لذا همان‌گونه که از نتایج حاصل از جدول فوق بر می‌آید، در هر دو

جدول ۴- مقایسه ضرایب رواناب سطحی اندازه‌گیری شده با دو روش سیپرس-کریک و SCS

| S | CN | روش SCS | | | | روش سیپرس-کریک | | | | واحد هیدرولوژی | ردیف |
|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------|------|
| | | C ₅₀ | C ₂₅ | R ₅₀ | R ₂₅ | C ₅₀ ** | C ₂₅ ** | R ₅₀ * | R ₂₅ * | | |
| ۱۵۰ | ۶۲/۸۲ | -/۲۷ | -/۲۳ | ۳۱/۳ | ۲۲/۹ | ۰/۴۴ | -/۳۸ | ۳۱/۳ | ۲۲/۹ | بابلرود ۱ | ۱ |
| ۱۱۴/۵ | ۶۸/۹۶ | -/۳۶ | -/۳۳ | ۴۱/۷ | ۳۳ | ۰/۵۲ | -/۴۵ | ۴۱/۷ | ۳۳ | بابلرود ۲ | ۲ |
| ۱۵۳ | ۶۲/۴۲ | -/۲۶ | -/۲۲ | ۳۰/۲ | ۲۳ | ۰/۴۳ | -/۳۸ | ۳۰/۲ | ۲۳ | بابلرود ۳ | ۳ |
| ۱۲۵/۵ | ۶۶/۹۲ | -/۳۲ | -/۲۸ | ۳۷/۷ | ۲۹/۴ | ۰/۴۹ | -/۴۳ | ۳۷/۷ | ۲۹/۴ | بابلرود ۴ | ۴ |
| ۶۵ | ۷۹/۵۹ | -/۵۴ | -/۵ | ۶۲/۶ | ۵۱/۷ | ۰/۶۷ | -/۵۹ | ۶۲/۶ | ۵۱/۷ | بابلرود ۵ | ۵ |
| ۱۳۱/۵ | ۶۵/۸۸ | -/۳۸ | -/۳۳ | ۵۴/۴۴ | ۴۲/۳ | ۰/۶۱ | -/۵۲ | ۵۴/۴۴ | ۴۲/۳ | بابلرود ۶ | ۶ |
| ۷۴/۸ | ۷۷/۲۵ | -/۵۶ | -/۵۲ | ۷۹ | ۶۵/۵ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۷۹ | ۶۵/۵ | بابلرود ۷ | ۷ |
| ۱۰۳ | ۷۱/۱۵ | -/۳ | -/۲۷ | ۲۷/۶ | ۲۱/۴ | ۰/۴۱ | -/۳۷ | ۲۷/۶ | ۲۱/۴ | چالوس ۱ | ۸ |
| ۸۲/۸۷ | ۷۵/۴۰ | -/۴۰ | -/۳۶ | ۳۹/۲۴ | ۳۱/۳۸ | ۰/۵ | -/۴۴ | ۳۹/۲۴ | ۳۱/۳۸ | چالوس ۲ | ۹ |
| ۸۰/۶۵ | ۷۵/۹۰ | -/۴۱ | -/۳۷ | ۴۰ | ۳۲/۲ | ۰/۵۱ | -/۴۵ | ۴۰ | ۳۲/۲ | چالوس ۳ | ۱۰ |
| ۱۵۶/۸ | ۶۱/۸۳ | -/۱ | -/۰۶ | ۶/۲۶ | ۴ | ۰/۲۵ | -/۲۴ | ۶/۲۶ | ۴ | چالکروود ۱ | ۱۱ |
| ۱۰۰/۷ | ۷۱/۶۰ | -/۲۱ | -/۱۸ | ۱۴/۳۵ | ۱۰/۶۵ | ۰/۳۲ | -/۲۸ | ۱۴/۳۵ | ۱۰/۶۵ | چالکروود ۲ | ۱۲ |
| ۱۰۷/۳ | ۷۰/۳۰ | -/۳۵ | -/۳۱ | ۳۷/۲۵ | ۲۹/۲ | ۰/۴۹ | -/۴۳ | ۳۷/۲۵ | ۲۹/۲ | چالکروود ۳ | ۱۳ |
| ۹۱/۶ | ۷۳/۵۰ | -/۲۲ | -/۱۹ | ۲۳/۸۹ | ۱۷/۸۰ | ۰/۳۹ | -/۳۴ | ۲۳/۸۹ | ۱۷/۸۰ | چشمه‌کیله ۱ | ۱۴ |
| ۹۷/۲ | ۷۲/۳۲ | -/۳۷ | -/۳۳ | ۳۹/۳۰ | ۳۱/۱۴ | ۰/۵ | -/۴۴ | ۳۹/۳۰ | ۳۱/۱۴ | چشمه‌کیله ۲ | ۱۵ |
| ۱۱۴/۷ | ۶۸/۸۸ | -/۳۲ | -/۲۸ | ۳۳/۷۲ | ۲۶/۲۶ | ۰/۴۶ | -/۴ | ۳۳/۷۲ | ۲۶/۲۶ | چشمه‌کیله ۳ | ۱۶ |
| ۱۱۴/۳ | ۶۸/۹۶ | -/۳۲۴ | -/۲۸۵ | ۳۳/۸۵ | ۲۶/۳۷ | ۰/۴۶۳ | -/۴۱ | ۳۳/۸۵ | ۲۶/۳۷ | چشمه‌کیله ۴ | ۱۷ |
| ۸۲/۴۲ | ۷۵/۵۰ | -/۵۵ | -/۵۱ | ۸۳/۴ | ۶۹ | ۰/۸۳ | -/۷۲ | ۸۳/۴ | ۶۹ | دارابکلا | ۱۸ |
| ۵۷/۶۵ | ۸۱/۵۰ | -/۴۳ | -/۳۹ | ۷۱/۶۴ | ۲۴/۷ | ۰/۷۴ | -/۴ | ۷۱/۶۴ | ۲۴/۷ | هراز ۱ | ۱۹ |
| ۵۹/۲ | ۸۱/۱۰ | -/۴۲ | -/۳۸ | ۷۱/۶۴ | ۲۴/۱۲ | ۰/۷۴ | -/۳۹ | ۷۱/۶۴ | ۲۴/۱۲ | هراز ۲ | ۲۰ |
| ۵۴/۶۲ | ۸۲/۳۰ | -/۵۸ | -/۵۵ | ۶۵ | ۵۴/۳۶ | ۰/۶۹ | -/۶۱ | ۶۵ | ۵۴/۳۶ | هراز ۳ | ۲۱ |
| ۷۳/۷۴ | ۷۷/۵۰ | -/۴۷ | -/۴۳ | ۵۰/۳ | ۴۱ | ۰/۵۸ | -/۵۱ | ۵۰/۳ | ۴۱ | هراز ۴ | ۲۲ |
| ۷۷/۶ | ۷۶/۶۰ | -/۴۷ | -/۴۳ | ۵۳ | ۴۳/۲ | ۰/۶ | -/۵۲ | ۵۳ | ۴۳/۲ | هراز ۵ | ۲۳ |
| ۱۰۳/۷ | ۷۱ | -/۵۲ | -/۴۸ | ۹۱/۸ | ۷۵/۵ | ۰/۸۹ | -/۷۷ | ۹۱/۸ | ۷۵/۵ | خلیج ۱ | ۲۴ |
| ۸۹/۷ | ۷۳/۹۰ | -/۵۱ | -/۴۷ | ۷۴/۸ | ۶۱/۴۳ | ۰/۷۷ | -/۶۷ | ۷۴/۸ | ۶۱/۴۳ | خلیج ۲ | ۲۵ |
| ۱۰۱/۷ | ۷۱/۴۰ | -/۴۷ | -/۴۳ | ۶۹ | ۵۶ | ۰/۷۲ | -/۶۳ | ۶۹ | ۵۶ | خلیج ۳ | ۲۶ |
| ۱۰۸/۸ | ۷۰ | -/۴۷ | -/۴۳ | ۷۲/۵ | ۵۹ | ۰/۷۵ | -/۶۵ | ۷۲/۵ | ۵۹ | خلیج ۴ | ۲۷ |
| ۱۰۸/۸ | ۷۰ | -/۴ | -/۳۵ | ۴۸ | ۳۸ | ۰/۵۷ | -/۴۹ | ۴۸ | ۳۸ | خلیج ۵ | ۲۸ |
| ۸۷/۸۵ | ۷۴/۳۰ | -/۴۷ | -/۴۳ | ۵۹/۹ | ۴۸/۷ | ۰/۶۶ | -/۵۷ | ۵۹/۹ | ۴۸/۷ | نکا ۱ | ۲۹ |
| ۹۳/۹۴ | ۷۳ | -/۴۴ | -/۴ | ۵۴ | ۴۳/۸۲ | ۰/۶۱ | -/۵۲ | ۵۴ | ۴۳/۸۲ | نکا ۲ | ۳۰ |
| ۱۰۲/۸ | ۷۱/۱۸ | -/۵ | -/۴۶ | ۸۱ | ۶۶/۴ | ۰/۸۱ | -/۷ | ۸۱ | ۶۶/۴ | نکا ۳ | ۳۱ |
| ۱۰۳/۳ | ۷۱/۰۸ | -/۳۱ | -/۲۷ | ۲۹ | ۲۲/۴۴ | ۰/۴۲ | -/۳۷ | ۲۹ | ۲۲/۴۴ | نکا ۴ | ۳۲ |
| ۱۰۱/۳ | ۷۱/۵۰ | -/۵۸ | -/۵۴ | ۱۱۸ | ۹۸/۶ | ۱ | -/۹۴ | ۱۱۸ | ۹۸/۶ | نصارود | ۳۳ |
| ۱۰۸/۸ | ۷۰ | -/۴۸ | -/۵۴ | ۱۲۵/۴ | ۱۰۴/۷ | ۱/۱۵ | -/۹۹ | ۱۲۵/۴ | ۱۰۴/۷ | پلنگ آبرود | ۳۴ |
| ۸۹/۲۴ | ۷۴ | -/۴۱ | -/۳۷ | ۴۳/۸۸ | ۳۴/۹۵ | ۰/۵۳ | -/۴۷ | ۴۳/۸۸ | ۳۴/۹۵ | صفارود ۱ | ۳۵ |
| ۸۹/۲۴ | ۷۴ | -/۴۱ | -/۳۷ | ۴۳/۸۸ | ۳۴/۹۵ | ۰/۵۳ | -/۴۷ | ۴۳/۸۸ | ۳۴/۹۵ | صفارود ۲ | ۳۶ |
| ۸۰/۲ | ۷۶ | -/۴۵ | -/۴ | ۴۷/۶ | ۳۸/۳۱ | ۰/۵۷ | -/۴۹ | ۴۷/۶ | ۳۸/۳۱ | صفارود ۳ | ۳۷ |
| ۹۶/۳۴ | ۷۲/۵۰ | -/۶۵ | -/۶۱ | ۱۶۲/۸ | ۱۳۶/۷ | ۱/۴ | ۱/۲۳ | ۱۶۲/۸ | ۱۳۶/۷ | صفارود ۴ | ۳۸ |
| ۱۹۹ | ۵۶/۰۷ | -/۴۲ | -/۳۸ | ۱۰۴ | ۸۳/۴ | ۰/۹۹ | -/۸۲ | ۱۰۴ | ۸۳/۴ | شیرود | ۳۹ |
| ۱۱۴/۲ | ۶۹ | -/۳۹ | -/۳۵ | ۴۹/۳ | ۳۹/۲ | ۰/۵۸ | -/۵ | ۴۹/۳ | ۳۹/۲ | تجن ۱ | ۴۰ |
| ۷۵/۸۷ | ۷۷ | -/۴۶ | -/۴۲ | ۴۸/۷ | ۳۹/۸ | ۰/۵۷ | -/۵۱ | ۴۸/۷ | ۳۹/۸ | تجن ۲ | ۴۱ |
| ۷۵/۸۷ | ۷۷ | -/۴۱ | -/۳۷ | ۳۸/۴ | ۳۰/۸۱ | ۰/۵۰ | -/۴۴ | ۳۸/۴ | ۳۰/۸۱ | تجن ۳ | ۴۲ |
| ۹۳/۹۴ | ۷۳ | -/۳۹ | -/۳۵ | ۴۱/۲۵ | ۳۳ | ۰/۵۲ | -/۴۵ | ۴۱/۲۵ | ۳۳ | تجن ۴ | ۴۳ |
| ۸۹/۲۴ | ۷۴ | -/۴۷ | -/۴۳ | ۵۹/۶۳ | ۴۸/۴۸ | ۰/۶۶ | -/۵۷ | ۵۹/۶۳ | ۴۸/۴۸ | تجن ۵ | ۴۴ |

* رواناب با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله و ** ضریب رواناب با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله

نتیجه‌گیری

آنچه که محرز می‌باشد، این است که در انجام پروژه‌های تحقیقاتی در زمینه مسائل مربوط به سیل و سیل‌خیزی، دوره بازگشت نقش بسزائی ایفا می‌کند چرا که بر اساس آن مدیران و کارشناسان بایستی در جهت اقدامات اولیه طراحی سدهای مخزنی، مبارزه با فرسایش، اجرای فعالیت‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری برنامه‌ریزی لازم را انجام دهند. از طرفی با توجه به تأثیر خصوصیات فیزیکی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، خاک‌شناسی، رژیم بارندگی، شرایط هندسی و خصوصیات فیزیکی آبراهه‌های اصلی و فرعی حوزه‌های آبخیز، در این بین عامل رواناب به همراه ضریب حاصله می‌تواند در فرایند سیل‌خیزی بسیار مهم باشد.

بنابراین بر اساس آنچه در این پژوهش به‌عنوان اهداف تعیین شده یعنی ارزیابی روش‌های مورد مطالعه نسبت به یکدیگر در شرایط اقلیمی حوزه‌های آبخیز استان مازندران منحصراً با مساحت کمتر از ۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد، نتایج این پژوهش گویای این مطلب است که در تعیین ضریب رواناب سطحی مطابق آنچه به‌وسیله روش‌های مورد استفاده اندازه‌گیری و محاسبه شد در تناظر با جدول چاو (به‌عنوان کامل‌ترین جدول ارائه شده در این مورد)، روند کاهشی یا افزایشی ضریب رواناب با دوره بازگشت معین (۲۵ و ۵۰ ساله) با توجه به عواملی چون پوشش، کاربری اراضی، شیب زمین و نوع خاک به‌کار گرفته شده در جدول چاو به‌وسیله سه روش مورد ارزیابی قرار گرفت.

بر این اساس، میانگین ضریب رواناب با کمک روش‌های SCS و سیپرس-کریک، نشان دهنده تطابق

بسیار خوب این دو روش در مقایسه با روش استدلالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه شیب غالب منطقه مورد مطالعه دارای میانگین پنج درصدی است، از بین دو روش SCS و سیپرس-کریک نیز روش شماره منحنی سازمان حفاظت خاک کارایی بهتری نسبت به روش سیپرس-کریک دارد و ضریب حاصل از این روش با دو دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله (۰/۳۷ و ۰/۴۱) در تناظر با جدول چاو بیان‌کننده صحت نتایج است.

لذا از بین سه روشی که مورد ارزیابی قرار گرفتند، در نهایت روش SCS در سطح حوضه‌های مورد مطالعه که دارای مساحتی کمتر از ۵۰ کیلومتر مربع با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله بودند، دقت بهتر و مطمئن‌تری دارد و می‌توان از آن برای برآورد ضریب رواناب در پژوهش‌های آبی و یا در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی جهت کنترل سیلاب و فرسایش و نیز طراحی سازه‌های مهندسی از قبیل سد خاکی، بند انحرافی و استفاده از رواناب‌ها در مناطق مستعد استفاده کرد. بنابراین، ضروری است که سهم عامل ضریب رواناب در تولید سیل اگر چه شاید ناچیز اما در سطح ملی می‌تواند کلان باشد، توسط کارشناسان و محققان مدنظر قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت‌های مالی کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندران میسر شد. بنابراین از کلیه مسئولین و دست‌اندرکاران این شرکت به‌ویژه مدیریت و کارشناسان محترم مطالعات پایه منابع آب که در طول تحقیق همکاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Akhondi, A. 2001. Investigation of Curve Number model in the floop estimation by GIS. Msc Thesis, Natural Resources Faculty, Tarbiat-e-Modarres University (in Persian).
2. Barati, S., S. Soltani Kopaei and S. Raygani. 2011. Investigation of land use change affection on basin hydrology behavior, case study: ghalee shahrookh sub-basin of Zayandeh-roud dam. Journal of Watershed Management Science and Engineering, (16): 63-66 (in Persian).
3. Busby, R.E., and G.E. Gifford. 1981. Effects of livestock grazing on infiltration and erosion rates measured on chained and unchained pinyon-junipersites in Southeastern Utah. Journal of Range Mangement, (34): 400-405.
4. Chow. V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill international editions civil Engineering series, 572 pages

5. Drayton, R.S., B.M. Wild and J.H. Haris. 1992. Geographical information system approach to distribute modeling, In: Terrian Analysis and Distributed Modeling in Hydrology. Ed. K.J. Beven, I.D. Moore, John Wiley & Sons, UK.
6. Hedayatinia, A.Kh. and A.A. Kamanbedast. 2009. Estimation of flood with simple reservoir model method and compare it with Cypress-Creek method. 8th International Seminar of River Engineering, Shahid-Chamran University of Ahvaz (in Persian).
7. Hemmatzadeh, Y., H. Barani and K. Alipour. 2009. Evaluation of economic effects of soil management and conservation projects in the Kechik basin. 11th Congress of Soil Science (in Persian).
8. Hosseini, M. 2015. Evaluation of waterproof surface efficiency in increasing runoff coefficient and improvement of soil moisture. *Watershed and Engineering Management*, 7(3): 286-296 (in Persian).
9. Jamshidnejad Anbarani, J. 1998. Estimate of runoff coefficient in the Caspian Sea Basin. MSc Thesis, Agricultural Faculty, Esfahan University, 109 pages (in Persian).
10. Khojini, A. 1998. Investigation of SCS method Curve Number in Alborz basin. *Journal of Pajoohesh and Sazandegi*, (38): 12-24 (in Persian).
11. Khosroshahi, M. 1998. Review of efficiency the some of important empirical equation to calculate the water balance in the basin without statistics. *Journal of Geographical Research*, (49-50): 35-46 (in Persian).
12. Mahdavi, M. 2005. Applied hydrology. Tehran University Press, 324 pages (in Persian).
13. Maryanaji, Z. and S. Marofi. 2005. Investigation of maximum daily rainfall's runoff in the Gharachay catchment using GIS and application of SCS method. *Journal of Agricultural Research*, 5(3): 71-82 (in Persian).
14. Mohammadi, H. and A. Panahi. 2006. Estimation of runoff using SCS and GIS in Ghalee-chay of Azarbaijan-Sharghi. *Journal of Geography, Geographical Society of Iran*, (10, 11): 15-25 (in Persian).
15. Mohseni, B., H. Razzaghian and A. Darzi-Naftchali. 2015. Computing of surface runoff coefficient with 25 and 50 years Return Period for watershed area less than 50 km². Final Report of Mazandaran Regional Water Company, 110 pages (in Persian).
16. Movahed Danesh, A.A. 1987. Introduction on hydrology. Tarbiat Modarres University Press (in Persian).
17. Najmaei, M. 1990. Engineering hydrology. Elm-o-Sanaat University Press (in Persian).
18. Pilgrim, D.H., and G.E. McDermott. 1982. Design flood for small rural catchments in eastern New South Wales. *Civil Engineering Translation*, 22-234.
19. Rahro Esfahani, R. 1997. Estimation of urban-runoff peak discharge for south basin of Esfahan. MSc Thesis, Agricultural Faculty, Esfahan University, 96 pages (in Persian).
20. Razzaghian, H. 2004. Analysis and Investigation of rain intensity, duration and frequency Curves, Gorganroud Basin. Seminar of MSc, T.M. University (in Persian).
21. Sadeghi, S.H.R. 1995. Investigating the effective factors on flood and evaluation of control mode factors. *Journal of Forest and Rangeland*, (43): 108-114 (in Persian).
22. Sherman, L.K. 1949. The unit hydrograph method. In E. Meinzer (e.d) *Physics of the Earth*, Dover Publications, Inc., New York, N.Y. 514-525.
23. Tamab. 1996. Integration report in the water resources studies of Caspian Rivers. Vol. 3, Ministry of Energy (in Persian).
24. Yari, R., A. Kohne, N. Jandaghi and F. Khojasteh. 2010. Investigation of land use effect on runoff coefficient and flood peak discharge in the various returns period (case study: Gorgan-Alangdarreh basin). 6th Congress of Iran Watershed Management Science and Engineering (in Persian).

Evaluating of rational, SCS and Cypress-Creek methods for determination of surface runoff coefficient in basins with area less than 50 km² in Mazandaran Province

Behrouz Mohseni^{*1}, Hadi Razzaghian², Abdollah Darzi-Naftchali³ and Esmaeel Nikzad⁴
^{1 and 2} Scientific Board, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran, ³ Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Iran and ⁴ GIS Expert of Mazandaran Regional Water Company, Iran

Received: 28 June 2015

Accepted: 23 November 2015

Abstract

Runoff as one of the water balance components of a basin, is of great importance in watershed and water resources management. Appropriate estimation of runoff is related to determination of runoff coefficient. In this study, runoff coefficient was estimated for return periods of 25 and 50 years using rational, SCS and Cypress-Creek methods for basins up to 50 km². GIS software was used to overlay layers and basin analysis. Chow's table was used to correspondence different methods. Due to the lack of compliance with Chow's table and estimating lower runoff coefficients than reality in most of the study area, rational method did not provide suitable results. Cypress-Creek method was also effective in some basins due to its similarity with the SCS method. Average equivalent runoff coefficient of $C_{25}=0.37$ and $C_{50}=0.41$ demonstrated high accuracy of SCS method compared with two other methods. According to the soil conservation service method, minimum and maximum runoff coefficients of 25-year return period were related to Chalakrud 1 (0.06) and Safarood 4 (0.61) watersheds, respectively. Also, the minimum and maximum runoff coefficients of 50- year return were 0.1 (for Chalakrud 1) and 0.65 (for Safarood 4), respectively. According to the results of three methods, the lowest runoff coefficients were obtained for watersheds with the highest area and the lowest rainfall intensity.

Key words: Water Balance, Runoff, GIS, Resources Management, Watershed

* Corresponding author: mohseni_m@pnu.ac.ir