

تهیه نقشه تغییرات مکانی ضریب رواناب در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در آبخیز محمدآباد کتول استان گلستان

رئوف مصطفی زاده^{۱*}، امیرحسین قربانی^۲، محسن ذبیحی^۳

*^۱- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل،

ایران

^۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نقشه برداری - سیستم‌های اطلاعات مکانی، موسسه آموزش عالی لامعی گرگانی،

گرگان، ایران

^۳- دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۷

چکیده

تعیین ضریب رواناب به صورت توزیعی می‌تواند در شناسایی مناطق همگن و مولد رواناب مورد استفاده واقع شود و با این روش، موقعیت واحدهای همگن و مشابه از نظر رفتار هیدرولوژیک در آبخیز مشخص و ترسیم می‌شود. هدف تحقیق حاضر، تهیه نقشه توان سیل‌خیزی و تولید رواناب سطحی با دو روش جدول ترکیبی و روش سرویس حفاظت خاک (SCS) در حوضه محمدآباد کتول در استان گلستان است. بر این اساس اطلاعات لازم برای تعیین ضریب رواناب شامل نقشه کاربری اراضی، شیب و بافت خاک تهیه شد و سپس مقادیر ضریب رواناب با استفاده از جدول سه ترکیبی در آبخیز مطالعاتی تعیین شد. هم‌چنین با رقوم‌نمودن لایه‌های مورد نیاز، نقشه شماره منحنی منطقه مورد مطالعه استخراج شد و بر اساس اطلاعات بارش حداکثر ۲۴ ساعته، با استفاده از رابطه SCS، ارتفاع رواناب و مقدار ضریب رواناب مشخص شد. در ادامه نتایج روش جدول ترکیبی و روش SCS در برآورد مقدار و توزیع مکانی ضریب رواناب مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در روش جدول ترکیبی، ضریب رواناب به میزان ۳۹ درصد به دست آمده است. حداکثر ضریب رواناب بالقوه در حوضه ۵۵٪ مربوط به مناطق پرشیب و کاربری‌های کشاورزی حوضه و حداقل مقدار آن ۱۳٪ برآورد شد. بر اساس نتایج، روش توزیعی توانایی نمایش تغییرات مکانی ضریب رواناب را دارد و مقدار متوسط ضریب رواناب در روش توزیعی برابر ۳۹٪ و در روش SCS با دوره بازگشت ۵۰ ساله ۲۹٪ بوده است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که دو روش مورد استفاده، دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ای در برآورد ضریب رواناب در مقایسه با مقادیر مشاهداتی نیستند.

کلمات کلیدی

"سیل‌خیزی"، "شماره منحنی"، "کاربری اراضی"، "نقشه ضریب رواناب بالقوه"

۱- مقدمه

آبخیز تعیین واکنش آبخیز در تولید حجم رواناب سیل است، که در این راستا اطلاعات با ارزشی از حوضه‌هایی با مساحت کم قابل استخراج بوده و قابلیت تعمیم به حوضه‌های بزرگ مقیاس را دارد (Zillgens et al., ۲۰۰۷؛ Penna et al., ۲۰۱۱). نکته قابل توجه این است که در مناطقی که پیوستگی شبکه زهکشی آبخیز چندان قابل توجه نیست، علیرغم وجود مناطقی با پتانسیل تولید رواناب بالا، امکان تجمع رواناب و تولید سیلاب بسیار ناچیز است. معمولاً واحدهای مشابه هیدرولوژیک بر اساس تولید رواناب با استفاده از اندازه‌گیری میدانی یا نقشه‌بندی مشخص می‌گردند (Becker and Brown, ۱۹۹۹). دخالت انسان در چرخه طبیعی آب از طریق تخریب پوشش گیاهی در عرصه‌های آبخیز، تغییر کاربری اراضی، توسعه سطوح غیرقابل نفوذ و امثال آن امکان سیل‌خیزی در مناطق

ضریب رواناب نشان‌دهنده نسبت رواناب به بارش کل در مناطق مختلف است، که در آن رطوبت قبلی خاک در نظر گرفته نمی‌شود (Zheng et al., ۲۰۰۹؛ Crăciun et al., ۲۰۲۱). ضریب رواناب بدون در نظر گرفتن تاثیر رطوبت خاک ضریب رواناب بالقوه نامیده می‌شود که در مطالعات هیدرولوژیک براساس پارامترهای مختلف تعیین می‌شود. ضریب رواناب در مقیاس رگبار با افزایش مساحت آبخیز کاهش می‌یابد و از طرفی، تغییرات ضریب رواناب آبخیز به خصوصیات توپوگرافی و خصوصاً شیب وابسته است (Penna et al., ۲۰۱۱). ارزیابی تغییرات ضریب رواناب سالانه در مقیاس حوضه برای درک چرخه هیدرولوژیکی تحت تغییرات طبیعی و انسانی بسیار مهم است (Xiong et al., ۲۰۲۲). یکی از اهداف هیدرولوژی

رواناب کم، متوسط و زیاد وجود دارد (Melesse et al., ۲۰۰۳). یکی از راه‌های تعیین ضریب رواناب بالقوه استفاده از نقشه کاربری اراضی، خاک و شیب حوضه و تلفیق آنها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی است که در نهایت براساس این عامل‌ها می‌توان نمایه مورد نظر را از جدول ترکیبی به‌دست آورد (Chow et al., ۱۹۸۸؛ بهره‌مند و محمودی، ۱۳۹۱). گل‌محمدی و همکاران (۱۳۸۶) تغییرات مکانی ضریب رواناب را با استفاده از داده‌های آماری یک دوره ۱۱ ساله مورد ارزیابی قرار دادند و با توجه به همبستگی بالا میان مقدار ضریب رواناب و شیب متوسط حوضه، این پارامتر به‌عنوان متغیر کمکی در بر آورد ضریب رواناب مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که ضریب رواناب آبخیز مورد مطالعه در استان همدان بین ۳/۵ و ۸۵ درصد تغییر می‌کند. یعقوبی و بهره‌مند (۱۳۹۰) در شبیه‌سازی جریان رودخانه چهل‌چای با استفاده از مدل هیدرولوژیکی - توزیعی WetSpa، نقشه ضریب رواناب بالقوه را تهیه نمودند و مقدار متوسط آن را برابر ۰/۵۷ برآورد نمودند. بهره‌مند و محمودی (۱۳۹۱) پتانسیل سیل‌خیزی مکانی حوضه لتیان را با در نظر گرفتن سه عامل اصلی تاثیر گذار بر ضریب رواناب حوضه شامل خاک، پوشش زمین، شیب مورد مطالعه قراردادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که به‌دلیل شیب بالا، بیش از ۱۹ درصد از مساحت منطقه، ضریب رواناب بیش از ۶۰ درصد است. نتایج تحقیق Mahe و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که میزان و ضریب رواناب در اثر تغییرات رژیم بارش و گسترش تغییر کاربری اراضی به ترتیب به میزان ۶۰ درصد و ۱۰۰ درصد افزایش داشته است. Ramakrishnan و همکاران (۲۰۰۹) با تلفیق روش شماره منحنی و سامانه اطلاعات جغرافیایی مناطق مستعد برداشت آب را در حوضه کالی در هند مشخص نمودند. Gholami و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از عکس‌های هوایی در سه دوره زمانی، مقدار شماره منحنی، ضریب رواناب و شاخص روش کوک را در آبخیز آقچه در اصفهان محاسبه نمودند و نتیجه گرفتند که مقادیر عوامل مذکور تغییرات قابل توجهی در اثر تغییر کاربری اراضی داشته‌اند. Del Giudice و همکاران (۲۰۱۲) عوامل موثر بر ضریب رواناب را در کشور ایتالیا مورد بررسی قرار دادند و گروه بندی نفوذپذیری خاکها را بر اساس رابطه ضریب نگهداشت و شماره منحنی مورد تجدید نظر قرار دادند. Yulianto و همکاران (۲۰۲۲) با هدف ارزیابی توزیع مکانی و زمانی رواناب سطحی برآوردی و تغییر آن در اثر تغییرات کاربری زمین/پوشش زمین در بالادست حوضه آبخیز سیتاروم، اندونزی دریافتند که وقوع تغییر در کاربری/پوشش اراضی بر ضریب رواناب سطحی

گونگون را افزایش می‌دهد (Bahremand and De ۲۰۱۰). عوامل گونگونی در وقوع سیل موثرند که می‌توان به شدت بارندگی، شیب حوضه نفوذپذیری زمین، شرایط پستی و بلندی، ویژگی‌های پوشش گیاهی و شرایط اشباع خاک اشاره نمود. یکی از دلایل بروز سیل‌خیزی در مناطق مسکونی، گسترش توسعه شهری و سطوح نفوذ ناپذیر و در نتیجه افزایش مقدار رواناب سطحی حاصل از وقایع بارندگی است و نیز امروزه اثر دخالت‌های انسانی در افزایش سیل‌خیزی بسیار چشم‌گیرتر است. برآورد رواناب و دبی سیل حاصل از رگبارها، به‌ویژه در حوضه‌های کوچک و فاقد آمار، از مباحث مهم در مدل‌سازی هیدرولوژی است و بر آورد حجم رواناب حاصل از بارندگی به‌منظور پیش‌گیری از وقوع سیلاب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (بهبهانی، ۱۳۹۰). هم‌چنین ضریب رواناب یکی از پارامترهای مهم برای برآورد اوج سیلاب مدل‌های هیدرولوژیک و شناسایی مناطق مهم تولید رسوب و آلاینده‌ها در صورت وقوع رواناب است. روش‌های تجربی و غیرتجربی متعددی برای برآورد ضریب رواناب و تعیین دبی پیک در حوضه آبخیز وجود دارد که هر کدام با توجه به عامل‌های مورد نیاز توسعه یافته‌اند. معمولاً تعیین مناطق و واحدهای همگن هیدرولوژیک بر اساس ضریب تولید رواناب تعیین می‌شود. عوامل متعددی در تعیین واحدهای همگن هیدرولوژیک با ضریب رواناب مشابه مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توان به توزیع بارندگی، رطوبت خاک عمق سنگ بستر، تبخیر، ارتفاع، زمین شناسی، کاربری اراضی، خاک و شیب اشاره نمود (Frankenberger et al., ۱۹۹۹؛ Flügel, ۱۹۹۷؛ Bull et al., ۲۰۰۳؛ Karvonen et al., ۱۹۹۹). ضریب رواناب با افزایش ارتفاع بارندگی افزایش می‌یابد و نیز جریان در سطح زمین به عواملی مانند شدت نفوذپذیری خاک، پوشش زمین، شدت بارندگی، لیتولوژی، شیب زمین و غیره بستگی دارد (Al-Ghobari et al., ۲۰۲۰). پوشش زمین تأثیر قابل توجهی بر پاسخ هیدرولوژیکی حوضه رودخانه در نظر گرفته می‌شود (Sriwongsitanon and Taesombat, ۲۰۱۱). ضریب رواناب بالقوه و ظرفیت ذخیره‌سازی می‌تواند بر اساس جداول سه ترکیبی و ترکیب لایه‌های ارتفاع، تپ خاک و کاربری زمین به دست آید (Bahremand et al., ۲۰۰۷). ضریب رواناب بالقوه می‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص معرف وضعیت توان سیل‌خیزی و توان تولید رواناب بالقوه و سیل یک عرصه باشد (Del Giudice et al., ۲۰۲۱). امکان پیش‌بینی مناطق مشابه هیدرولوژیک با استفاده از GIS و کلاس‌بندی و تلفیق نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، زمین‌شناسی و کاربری اراضی به مناطقی با پتانسیل تولید

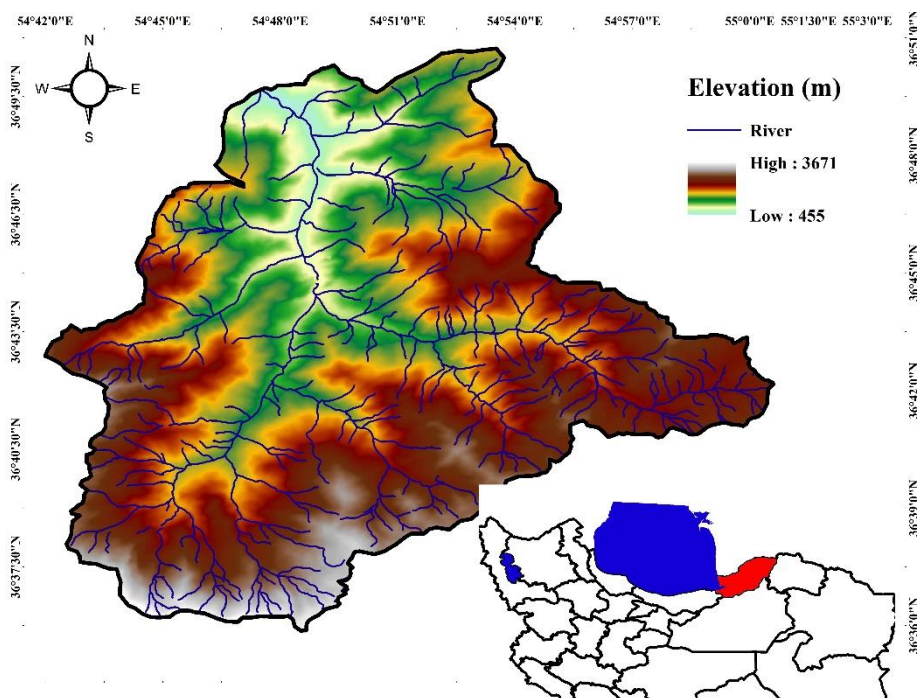
توزیعی و روش شماره منحنی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی است.

۲- روش انجام تحقیق

- محدوده مورد مطالعه

آبخیز محمدآباد کتول با مساحتی حدود 4×4 کیلومتر مربع و طول $30/5$ کیلومتر یکی از زیرحوضه‌های رودخانه گرگانرود است. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در حوزه آبخیز محمدآباد کتول به ترتیب برابر با ۴۵۵ و ۳۶۷۱ متر است. میانگین بارش سالانه منطقه 530 میلی‌متر، میانگین دمای سالانه $16/5$ درجه سانتی‌گراد و شیب متوسط حوضه $41/6$ درصد است. کاربری‌های اراضی منطقه به ترتیب مساحت شامل جنگل، مرتع و کشاورزی است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را در کشور ایران نمایش می‌دهد. آمار دبی ساعتی ایستگاه هیدرومتری سرمو واقع در خروجی آبخیز و آمار ساعتی بارش ایستگاه باران‌سنجی فاضل‌آباد به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه ثابت به آبخیز در تجزیه و تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷).

تأثیر مثبت دارد و بر در نظر گرفتن تفاوت مکانی تولید رواناب در برنامه‌ریزی‌ها تأکید نمودند. Machado و همکاران (۲۰۲۲) با تعیین ضریب رواناب به روش جدولی و تجزیه و تحلیل رویدادهای بارش و رواناب و مقایسه نتایج در پنج حوزه آبخیز زوجی در ایالت سائوپائولو، برزیل، با کاربری‌های مختلف زمین نتیجه گرفتند که میان مقادیر ضریب رواناب محاسباتی با مشاهداتی تفاوت وجود دارد. ایشان تفاوت در مقادیر ضرایب رواناب را به تنوع کاربری اراضی نسبت دادند. همچنین ترکیب عوامل مختلفی چون گروه هیدرولوژیک خاک، کاربری اراضی، شرایط رطوبت پیشین خاک و وضعیت هیدرولوژیک آبخیز با استفاده از روش سرویس حفاظت خاک آمریکا در برآورد ارتفاع رواناب استفاده می‌شود، که می‌تواند عامل مناسبی در تحلیل توان سیل‌خیزی منطقه به شمار رود و معمولاً در اکثر مطالعات هیدرولوژیک آبخیزهای کشور نیز از روش مذکور استفاده می‌شود. هدف پژوهش حاضر، تعیین و تحلیل تغییرات مکانی ضریب رواناب حوضه محمدآباد کتول دو روش



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اردبیل

استان گلستان تهیه و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی رقومی شد و در ادامه نقشه رقومی ارتفاع آبخیز مورد پژوهش با اندازه سلول 30×30 متر از نقشه توپوگرافی با مقیاس $1:250000$ آبخیز محمدآباد کتول تهیه شد. نقشه شیب حوضه از روی نقشه DEM حوضه تهیه شد و سپس به چهار طبقه شیب مطابق جدول ۱ طبقه‌بندی شد.

- تهیه نقشه ضریب رواناب

نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان اخذ و طی بازدیدهای میدانی، تیپ‌های کاربری اراضی اصلاح و در نهایت نقشه نهایی کاربری اراضی در محیط GIS رقومی شد. نقشه خاک آبخیز مطالعاتی نیز از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری

نقشه ضریب رواناب سطحی بالقوه در یک شبکه سلولی با ابعاد ۳۰×۳۰ متر برای آبخیز محمدآباد کتول در محیط GIS تهیه شد

در ادامه نقشه‌های شیب، کاربری اراضی و خاک طبقه‌بندی شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS ۱۰٫۸٫۱ با دستور Union با یکدیگر ترکیب شدند و سپس براساس جدول ۱، مقدار ضریب رواناب بالقوه برای هر پلیگون ترکیب شده اختصاص داده شد (Bahremand et al., ۲۰۰۷).

جدول ۱- محاسبه ضریب رواناب بالقوه بر اساس لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی، خاک و شیب

کاربری اراضی	شیب(درصد)	رسی	سیلنتی رسی	شنی رسی	رسی لومی	رسی لومی	سیلنت لومی	سیلنت لومی	شنی لومی	رسی لومی	شیب	کاربری اراضی
شالی	< ۰/۵	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۳	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۴	۰/۴
	۰/۵ - ۵	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۴
	۵ - ۱۰	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۳	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵
	> ۱۰	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۶۲
برنج	< ۰/۵	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۳	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵
	۰/۵ - ۵	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵
	۵ - ۱۰	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۴	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶
	> ۱۰	۰/۳۹	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۷۲
زراعت	< ۰/۵	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۴	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶
	۰/۵ - ۵	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶
	۵ - ۱۰	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۷۴	۰/۷
	> ۱۰	۰/۴۹	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۲
زمین باد	< ۰/۵	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۴	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۷
	۰/۵ - ۵	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۷۴	۰/۷
	۵ - ۱۰	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۶	۰/۶۳	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۸۴	۰/۸
	> ۱۰	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۲

شامل دو بخش تلفات اولیه (Ia)، شامل گیرش گیاهی، اشباع خاک و ذخیره چالابی است و تلفات ثانویه (F)، شامل نفوذ عمقی و تابعی از زمان است.

$$Q = P - (I_a + F) \quad (1) \text{ رابطه (۱)}$$

در این رابطه Q، ارتفاع رواناب (میلی‌متر) و P ارتفاع بارش (میلی‌متر) است. پس از تحلیل روابط بارش و جریان

• تعیین ارتفاع رواناب با استفاده از روش SCS-CN روش SCS-CN به سبب سادگی استفاده از آن به‌عنوان یکی از روش‌های متداول و پرکاربرد در محاسبه رواناب سطحی مطرح شده است (Mishra and Singh, ۲۰۰۶)؛ (Williams et al., ۲۰۱۲). در روش SCS-CN، رواناب از اختلاف بارش و تلفات محاسبه می‌شود (رابطه ۱). کل تلفات

توجه به ورودی‌های مورد نیاز روش SCS-CN، ابتدا بارش طرح محاسبه شد. در این راستا، مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته در طول دوره آماری موجود از آمار ایستگاه باران سنجی فاضل‌آباد استخراج و به منظور برآورد میزان بارش در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله نیز از نرم‌افزار Cumfreq استفاده شد (اسفندیاری و همکاران، ۱۴۰۱). سپس بارش محاسباتی به‌عنوان بارش طرح انتخاب و وارد معادله SCS-CN شد و در نهایت ارتفاع رواناب در دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه شد.

۳- نتایج

نتایج حاصل از تهیه نقشه ضریب رواناب بالقوه با استفاده از ترکیب لایه‌های کاربری اراضی، بافت خاک و شیب در شکل ۲ نشان داده شده است.

سطحی ناشی از آن، رابطه بین رواناب و بارش به شکل روابط (۲) و (۳) استفاده شد (بهره‌مند و حاتمی گل‌مکانی، ۱۳۹۹)

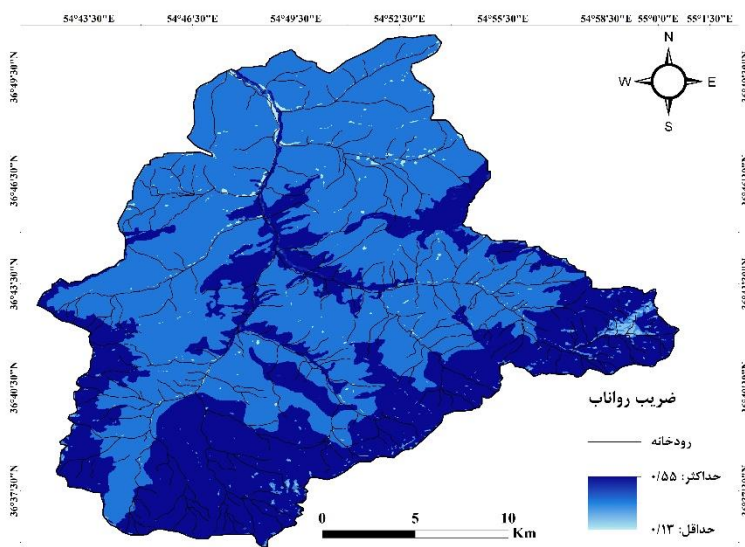
$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این روابط S، حداکثر پتانسیل نگهداشت (میلی‌متر) است که براساس رابطه (۴) به‌دست می‌آید.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{رابطه (۴)}$$

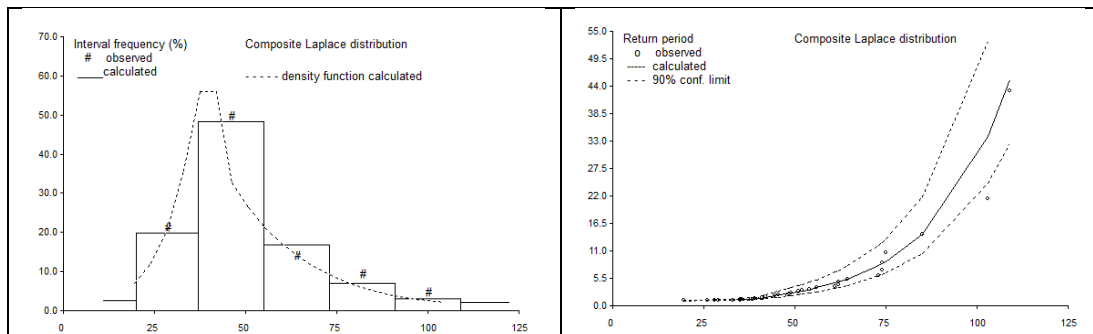
که در آن CN، شماره منحنی و تابعی از گروه‌های هیدرولوژیک خاک، نوع کاربری اراضی، بارش پیشین و وضعیت هیدرولوژیک است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ Valiantzas و Soulis، ۲۰۱۲). در مرحله بعد، با



شکل ۲- نقشه ضریب رواناب بالقوه آبخیز محمدآباد کتول با استفاده از روش جدول ترکیبی

محاسبه مقدار بارش حداکثر ۲۴ ساعته در دوره‌های بازگشت مختلف از نرم‌افزار Cumfreq استفاده شد. در ادامه، ارزیابی توزیع‌های فراوانی برازش یافته بر اساس شاخص نکوئی برازش صورت گرفت و توزیع فراوانی لاپلاس ترکیبی برای محاسبه مقادیر بارش در دوره برگشت‌های مختلف به‌عنوان توزیع فراوانی برتر انتخاب شد (شکل ۳).

متوسط ضریب رواناب بالقوه در کل حوضه ۰/۳۹ درصد است که نشان‌دهنده توان سیل‌خیزی متوسط منطقه مطالعاتی است. در این راستا باید اشاره شود که شیب متوسط حوضه آبخیز محمدآباد کتول برابر با ۴۱/۶ درصد محاسبه شد اما پوشش گیاهی مناسب جنگلی و مرتعی منجر به کاهش مقدار ضریب رواناب بالقوه شده است. قابل ذکر است که مقادیر ضریب رواناب سطحی بالا مربوط به بخش‌های بالادست منطقه مورد پژوهش است. به‌منظور

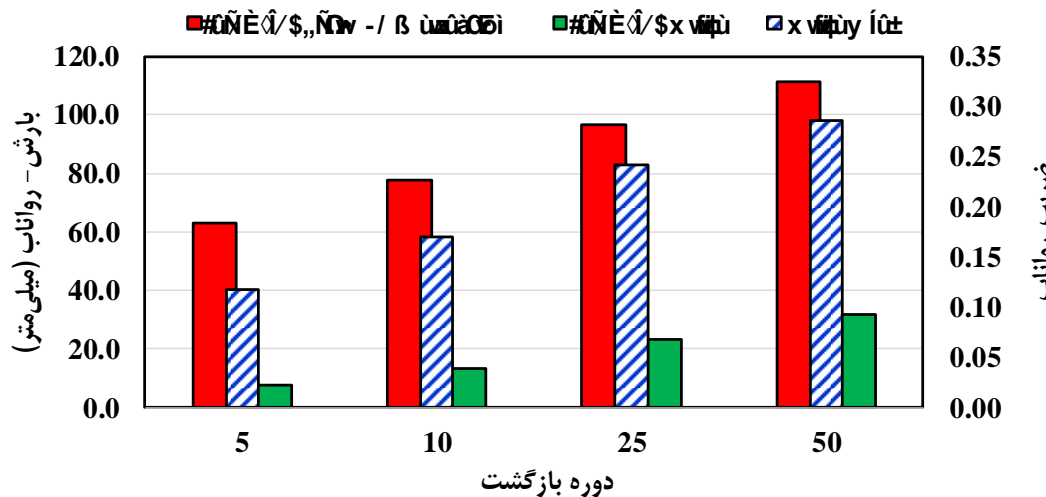


شکل ۳- مقادیر برآوردی بارش در دوره‌های بازگشت مختلف براساس توزیع لاپلاس ترکیبی (راست)، و هیستوگرام تابع احتمال محاسباتی در برآورد بارش طرح (چپ)

نتایج محاسبه ارتفاع رواناب سطحی با استفاده از روش SCS-CN در جدول ۲ ارائه شده است. علاوه بر این، مقادیر ضریب رواناب محاسباتی در دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از روش SCS-CN در حوزه آبخیز محمدآباد کتول در شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲- مقادیر بارش، رواناب و ضریب رواناب در دوره‌های بازگشت مختلف حوزه آبخیز محمدآباد کتول

دوره بازگشت (سال)	حداکثر بارش ۲۴ ساعته (میلی‌متر)	رواناب (میلی‌متر)	ضریب رواناب
۵	۶۳/۱۰	۷/۴۱	۰/۱۲
۱۰	۷۷/۵۵	۱۳/۴۸	۰/۱۷
۲۵	۹۶/۶۶	۲۳/۳۱	۰/۲۴
۵۰	۱۱۱/۱۱	۳۱/۸۱	۰/۲۹



شکل ۴- مقایسه مقادیر ضریب رواناب محاسباتی با استفاده از روش SCS-CN در حوزه آبخیز محمدآباد کتول

۴- نتیجه‌گیری
در پژوهش حاضر، نقشه ضریب رواناب با روش جدول ترکیبی و SCS-CN در حوزه آبخیز محمدآباد کتول استان گلستان تهیه و مورد مقایسه قرار گرفت. در این راستا، لایه‌های شیب، خاک، کاربری اراضی و جدول ترکیبی برای تهیه نقشه ضریب رواناب بالقوه حوضه استفاده شد. به نظر می‌رسد ضریب رواناب محاسباتی براساس تلفیق نقشه‌های مذکور، عوامل اصلی و موثر بر سیل‌خیزی را مدنظر قرار داده و می‌توان به نقشه تغییرات مکانی ضریب رواناب ارائه شده اعتماد نمود. با توجه به تأثیر عوامل

تهیه نقشه ضریب رواناب بالقوه حوضه استفاده شد. به نظر می‌رسد ضریب رواناب محاسباتی براساس تلفیق نقشه‌های مذکور، عوامل اصلی و موثر بر سیل‌خیزی را مدنظر قرار داده و می‌توان به نقشه تغییرات مکانی ضریب رواناب ارائه شده اعتماد نمود. با توجه به تأثیر عوامل

حوزه آبخیز محمدآباد کتول است. در منطقه مورد مطالعه جنگل بخش زیادی از مساحت منطقه را در بر گرفته است. همچنین Al-Ghobari و همکاران (۲۰۲۰) در برآورد رواناب سطحی برای یک منطقه نیمه خشک با استفاده از روش SCS-CN مبتنی بر RS و GIS اذعان نمودند که روش مذکور برای برآورد رواناب حوضه‌های فاقد آماری و مدیریت بهتر حوضه‌ها و اهداف حفاظتی، شایسته توجه بیش‌تر است. ادغام لایه‌های مختلف در GIS و استفاده از روش ترکیبی ابزار قدرتمندی برای تعیین ضریب رواناب در حوضه‌های بدون ایستگاه هیدرومتری است که امکان استفاده از نقشه مذکور در کاهش اثرات احتمالی سیل را فراهم می‌کند.

متعددی از جمله شدت بارندگی، پستی و بلندی، نفوذپذیری زمین، ویژگی‌های پوشش گیاهی و فیزیوگرافی بر سیل‌خیزی یک منطقه، ضروری است که روشی توسعه داده شود که بتوان بر اساس این کمیت‌ها، نقشه ضریب رواناب را به نقشه سیل‌خیزی منطقه تبدیل کرد. در همین راستا، بهره‌مند و محمودی (۱۳۹۱) به کمک مدل WetSpa و ARCGIS به بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه لتیان پرداختند که در آن از عوامل خاک، پوشش زمین و شیب برای محاسبه ضریب سیل‌خیزی استفاده شد. در این روش، ضریب رواناب از صفر تا ۱۰۰ درصد در مناطق مختلف حوضه تغییر می‌کند. در این خصوص، می‌توان گفت که شیب بالایی قسمت‌های زیادی از منطقه عامل اصلی در بالا بودن ضریب رواناب و سیل‌خیزی در بخش‌های بالادست منابع

اسفندیاری، ف.، پورگنجی، ز.، مصطفی‌زاده، ر.، آقایی، م.، ۱۴۰۱. مقایسه روش‌های تبدیل بارش موثر به رواناب سطحی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل حوضه ننه‌کران، استان اردبیل، هیدروژئومورفولوژی، ۹(۳۲): ۶۳-۸۶.
 بهبهانی، س.، ۱۳۹۰. هیدرولوژی آب‌های سطحی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۵ ص.
 بهره‌مند، ع.، حاتمی گل‌مکانی، پ.، ۱۳۹۹. ارزیابی سیل‌خیزی بالقوه حوزه آبخیز زیارت با روش مبتنی بر CN و مدل هیدرولوژیکی WetSpa، مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۱(۱): ۳۸-۵۱.
 بهره‌مند، ع.، محمودی، ع.، ۱۳۹۱. بررسی توزیع مکانی توان سیل‌خیزی حوضه آبخیز لتیان مبنی بر تحلیل نقشه ضریب رواناب، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۹: ۲۹-۳۶.
 گل‌محمدی، گ.، معروفی، ص.، محمدی، ک.، ۱۳۸۷. منطقه‌ای نمودن ضریب رواناب در استان همدان با استفاده از روش‌های زمین آماری و GIS، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۶(۱۲): ۵۰۱-۵۱۴.
 مصطفی‌زاده، ر.، میرزایی، ش.، اسمعیلی، ا.، ذبیحی، م.، ۱۳۹۷. آنالیز حساسیت مولفه‌های هیدروگراف جریان به تغییر در پارامترهای روش زمان-مساحت کلارک در آبخیز محمدآباد استان گلستان، تحقیقات آب و خاک ایران، ۹۱(۱): ۹۹-۹۹.
 مصطفی‌زاده، ر.، میرزایی، ش.، ندیری، پ.، ۱۳۹۶. تعیین شماره منحنی از رویدادهای بارش و رواناب و تغییرات آن با مؤلفه‌های بارش در یک حوضه آبخیز جنگلی، علوم آب و خاک، ۲۱(۴): ۱۵-۲۸.
 یعقوبی، ف.، بهره‌مند، ع.، ۱۳۹۰. شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی - توزیعی WetSpa در حوزه آبخیز چهل‌چای در استان گلستان، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۸(۳): ۱۸۵ تا ۲۰۶.

Al-Ghobari, H., Dewidar, A., Alataway, A. ۲۰۲۰. Estimation of surface water runoff for a semi-arid area using RS and GIS-based SCS-CN method. *Water*, ۱۲(۷), ۱۹۲۴.
 Bahremand, A., De Smedt, F. ۲۰۱۰. Predictive Analysis and Simulation Uncertainty of a Distributed Hydrological Model. *Water Resources Management*, ۲۴: ۲۸۶۹-۲۸۸۰.
 Bahremand, A., De Smedt, F., Corluy, J., Liu, Y. B., Poorova, J., Velcicka, L., Kunikova, E. ۲۰۰۷. WetSpa model application for assessing reforestation impacts on floods in Margecany-Hornad Watershed, Slovakia. *Water Resources Management*, ۲۱: ۱۲۷۳-۱۳۹۱.
 Becker, A., Braun, P. ۱۹۹۹. Disaggregation, aggregation and spatial scaling in hydrological modelling. *Journal of hydrology*, ۲۱۷(۳-۴): ۲۳۹-۲۵۲.
 Bull, L.J., Kirkby, M.J., Shannon, J., Dunsford, H. ۲۰۰۳. Predicting Hydrological Response Units (HRUs) in semiarid environments. *Advanced Communications Model*, ۱: ۱-۲۶.

- Chow, V.T., Maidment, D.R. Mays, L.W., ۱۹۸۸. Applied Hydrology, McGrawHill, New York.
- Crăciun, A.I., Haidu, I., Magyari-Sáska, Z., Imbroane, A. I. ۲۰۰۹. Estimation of runoff coefficient according to soil moisture using GIS techniques. *Geographia Technica*, ۴(۲): ۱-۱۰.
- Del Giudice, G., Padulano, R., Rasulo, G. ۲۰۱۲. Factors affecting the runoff coefficient. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, ۹(۴): ۴۹۱۹-۴۹۴۱.
- Flügel, W.A. ۱۹۹۷. Combining GIS with regional hydrological modelling using hydrological response units (HRUs): An application from Germany. *Mathematics and Computers in Simulation*, 43(۳-۶): ۲۹۷-۳۰۴.
- Frankenberger, J.R., Brooks, E.S., Walter, M.T., Walter, M.F., Steenhuis, T.S. ۱۹۹۹. A GIS-based variable source area hydrology model. *Hydrological processes*, ۱۳(۶): ۸۰۵-۸۲۲.
- Gholami, A., Panahpour, E., Davami, A.H. ۲۰۱۱. Preparing the Curve Number (CN) and Surface Runoff Coefficient (C) Map of the Basin in the Aghche Watershed, Iran. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, ۵(۹): ۴۷۶-۴۷۹.
- Karvonen, T., Koivusalo, H., Jauhainen, M., Palko, J., Weppling, K. ۱۹۹۹. A hydrological model for predicting runoff from different land use areas. *Journal of hydrology*, ۲۱۷(۳-۴): ۲۵۳-۲۶۵.
- Machado, R.E., Cardoso, T.O., Mortene, M.H. ۲۰۲۲. Determination of runoff coefficient (C) in catchments based on analysis of precipitation and flow events. *International Soil and Water Conservation Research*, ۱۰(۲): ۲۰۸-۲۱۶.
- Mahe, G., Paturel, J.E., Servat, E., Conway, D., Dezetter, A. ۲۰۰۵. The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina-Faso. *Journal of Hydrology*, ۳۰۰(۱-۴): ۳۳-۴۳.
- Melesse, A.M., Graham, W.D., Jordan, J.D. ۲۰۰۳. Spatially distributed watershed mapping and modeling: GIS-based storm runoff response and hydrograph analysis: Part ۲. *Journal of Spatial Hydrology*, ۳(۲): ۱-۲۸.
- Mishra, S.K., Singh, V.P. ۲۰۰۶. A relook at NEH-۴ curve number data and antecedent moisture condition criteria. *Hydrological Processes: An International Journal*, ۲۰(۱۳): ۲۷۵۵-۲۷۶۸.
- Penna, D., Mantese, N., Gobbi, A., Borga, M. ۲۰۱۱. Runoff response at different spatial scales: moving from small experimental areas to mesoscale catchments. *Die Bodenkultur*, ۶۲(۱-۴): ۱۰۱-۱۰۷.
- Ramakrishnan, D., Bandyopadhyay, A., Kusuma, K.N. ۲۰۰۹. SCS-CN and GIS-based approach for identifying potential water harvesting sites in the Kali Watershed, Mahi River Basin, India. *Journal of Earth System Science*. ۱۱۸(۴): ۳۵۵-۳۶۸.
- Soulis, K.X., Valiantzas, J.D. ۲۰۱۲. SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds—the two-CN system approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, ۱۶(۳): ۱۰۰۱-۱۰۱۵.
- Sriwongsitanon, N., Taesombat, W. ۲۰۱۱. Effects of land cover on runoff coefficient. *Journal of hydrology*, ۴۱۰(۳-۴): ۲۲۶-۲۳۸.
- Williams, J., Kannan, N., Wang, X., Santhi, C., Arnold, J. ۲۰۱۲. Evolution of the SCS Runoff Curve Number Method and Its Application to Continuous Runoff Simulation. *Journal of Hydrologic Engineering*, ۱۷(۱۱): ۱۲۲۱-۱۲۲۹.
- Xiong, J., Yin, J., Guo, S., He, S., Chen, J. ۲۰۲۲. Annual runoff coefficient variation in a changing environment: A global perspective. *Environmental Research Letters*, ۱۷(۶): ۰۶۴۰۰۶.
- Yulianto, F., Khomarudin, M.R., Hermawan, E., Nugroho, N.P., Chulafak, G.A., Nugroho, G., ... & Priyanto, E. ۲۰۲۲. Spatial and temporal distribution of estimated surface runoff caused by land use/land cover changes in the upstream Citarum watershed, West Java, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(۲): ۳۲۹۳-۳۳۰۵.
- Zheng, H., Miao, C., Zhang, G., Li, X., Wang, S., Wu, J., Gou, J. ۲۰۲۱. Is the runoff coefficient increasing or decreasing after ecological restoration on China's Loess Plateau?. *International Soil and Water Conservation Research*, ۹(۳): ۳۳۳-۳۴۳.
- Zillgens, B., Merz, B., Kirnbauer, R., Tilch, N. ۲۰۰۷. Analysis of the runoff response of an alpine catchment at different scales. *Hydrology and Earth System Sciences*, ۱۱(۴): ۱۴۴۱-۱۴۵۴.

GIS-based Spatial Runoff Coefficient Mapping in Mohammadabad Katul watershed, Golestan Province

Raof Mostafazadeh^{۱*}, Amirhosein Ghorbani^۲, Mohsen Zabih^۳

^۱Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^۲MSc. Student of Survey Engineering- Geographic Information Systems, Lamei Gorgani Institute of Higher Education, Gorgan, Iran

^۳Ph.D., Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

* Corresponding Author: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Determining the runoff coefficient in a distributed way can be used to identify the runoff producing areas. The runoff coefficient represents the ratio of runoff to total precipitation in different areas, where the previous soil moisture is not taken into account. The runoff coefficient without considering the effect of soil moisture is called the potential runoff coefficient, which is determined based on different parameters in hydrological studies. The changes in the watershed runoff coefficient depend on the topographic characteristics and especially the slope. Assessing the spatial changes of runoff coefficient at the watershed scale is very important for understanding the hydrological cycle under natural and disturbed condition. The location of homogeneous and similar units in terms of hydrological behavior in the watershed is determined and identified by determining the spatial map of runoff production. Meanwhile, determining the watershed response is important in the production of flood runoff volume. It should be noted that the similar units based on hydrological response are usually defined based on runoff production using field measurements. In this regard, the spatial data mapping provides the possibility of preparing a map of the runoff coefficient in a short time and will increase the accuracy of the work. Anthropogenic intervention in the natural water cycle through the destruction of vegetation in watershed areas, land use change, development of impervious surfaces lead to increasing the possibility of flooding in various areas. Various factors affect the occurrence of floods, which can be mentioned the intensity of rainfall, the slope of the land permeability, relief, characteristics of vegetation and different soil conditions. The runoff coefficient is one of the important parameters for estimating the peak flood of hydrological models and identifying important areas of sediment production and pollutants in runoff producing areas. Several factors have been used in determining homogeneous hydrological units with similar runoff coefficient, e.g., rainfall distribution, soil moisture, bedrock depth, evaporation, geology, land use, soil and slope.

Methodology

The purpose of this research is to surface runoff potential mapping using combined table and the soil conservation service curve number (SCS-CN) method in the Mohammadabad Katul watershed in Golestan province. The area of study area watershed is ۴۰۴ square kilometers and a main river length is ۳۰,۵ kilometers. The minimum and maximum elevation of the study watershed is ۴۵۵ and ۳۶۷۱ meters above sea level, respectively. The average annual precipitation of the study watershed is ۵۳۰ mm, and the average annual temperature is ۱۶,۵ centigrade degrees. Also, the average slope of the study area is ۴۱,۶%. The land use map of the study area was obtained from the General Office of Natural Resources and Watershed Management of Golestan province and the land use types were modified during the field surveys, then the land use map was digitized in the GIS environment. The soil map of the study watershed was also prepared based on previous studies and then digitized using GIS and the soil map has been prepared. The digital elevation model of the study area with a cell size of ۳۰x۳۰ meters has been obtained from topographic map with a scale of ۱:۲۵۰۰۰. The slope map of the watershed was prepared from the DEM and then classified into four slope classes according to runoff coefficient table. Based on this, the necessary information to determine the runoff coefficient including the land use map, slope and soil texture was prepared. Then, the values of the potential runoff coefficient were determined using the combined table in the study watershed. Also, by incorporating the required layers, the curve number map of the study area has been prepared. The maximum ۲۴-hour precipitation data of the nearest rain gauge station (Fazel abad) has been analyzed. After statistical analysis, the best probability distribution function fitted to the data has been selected for further analysis. Then, the runoff

height and the value of the runoff coefficient were determined in ۵, ۱۰, ۲۵, ۵۰ years, return periods using the SCS-CN method. In the next step, the results of the combined table method and the SCS method were compared in estimating the amount and spatial distribution of the potential runoff coefficient.

Result and Discussion

The results of this study showed that the runoff coefficient was ۳۹% according to the combined table method. The maximum coefficient of potential runoff in the study watershed was estimated to be ۰,۵۵, corresponding to the steep and agricultural land use of the study areas. Also, the minimum runoff potential value coefficient was ۰,۱۲. Based on the results, the combined distributed method incorporating land use, soil texture, and slope layers has the ability to determine the spatial changes of the runoff coefficient. In the following, the fitted frequency distributions were evaluated based on the goodness of fit criteria, and the Combined Laplace frequency distribution was chosen as the best frequency distribution to calculate the rainfall values in different return periods. The value of the runoff coefficient was ۰,۲۹ in ۵۰-year return periods.

Conclusion

In the present study, the runoff coefficient map was prepared using the combined table method and SCS-CN method. In this regard, the GIS layers of slope, soil, land use and combined table were used to prepare the potential runoff coefficient map of the watershed. It seems that the calculated runoff coefficient based on the integration of the influencing maps takes into account the main and effective factors on runoff production, and provide an accurate spatial runoff coefficient map. As a concluding remark, it can be said that the combined and SCS-CN methods have provided similar results, but the runoff coefficient numbers provided by the combined method are higher than the SCS method. Considering the effect of several factors, including rainfall characteristics, relief, land permeability, vegetation characteristics and physiography on the flooding of a region, it is necessary to develop a method that can be used to map the runoff coefficient to the flooding map based on the affecting available factors. The integration of different layers in GIS and the use of a combined method is a useful tool for determining the runoff coefficient in ungauged watersheds, which allows the use of the runoff potential map in reducing the possible effects of floods.

Keywords

"Curve Number", "Flooding", "Land use", "Potential runoff coefficient map"