



برآورد ارتفاع و دبی اوج رواناب در وقوع فرسایش آبراهه‌ای در منطقه کجور نوشهر- البرز شمالی

محمد مهدی حسین‌زاده^۱

چکیده

پدیده سیل یکی از مخاطرات طبیعی است و بررسی آمار و اطلاعات خسارت‌های سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها در ایران و جهان بیانگر گستردگی صدمات ناشی از وقوع سیلاب بر منابع طبیعی و انسانی است. به منظور برآورد ارتفاع رواناب و دبی اوج در حوزه‌های آبخیز و فرسایش آبراهه‌ای حاصل از آن روش‌های تجربی و مدل‌های ریاضی مختلفی وجود دارد. یکی از این مدل‌ها، مدل SCS است. بنابراین هدف این تحقیق برآورد ضریب رواناب و دبی اوج سیل با استفاده از روش شماره منحنی در واحدهای مختلف تشکیل دهنده حوزه فیروزکلای کجور و همچنین پهنه‌بندی توان تولید رواناب و وقوع فرسایش آبراهه‌ای در حوزه است. بعد از تهیه نقشه CN و S حوزه، به منظور محاسبه حجم رواناب تولید شده در منطقه، بارش‌های کوتاه مدت برای دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از توزیع پیرسون تیپ III محاسبه گردید. نتایج نشان داد که اراضی جنگلی دارای کمترین و اراضی مرتعی دارای بیشترین توان تولید رواناب و وقوع فرسایش آبراهه‌ای و همچنین از کمترین میزان نفوذ برخوردار هستند. در واقع بخش‌های میانی حوزه، دارای بیشترین رواناب و مستعد فرسایش و تشکیل خندق در منطقه می‌باشند. پس از تعیین ارتفاع رواناب سطحی حوزه، دبی اوج در کلاس هیدرولوژیک D قرار دارد.

واژه‌های کلیدی:

سیل، شماره منحنی، رواناب، کجور، دبی اوج، فرسایش آبراهه‌ای



Scientific-Research Quarterly Journal Of
Environmental Erosion Researches
Vol. 2, No. 7, autumn 2013, pp: 1-15

Estimated height and peak runoff rate in a stream erosion in Kojoor region Nowshahr – North Alborz

Hosseinzadeh M. M.^۱

Abstract

Flooding is a natural hazard events and Survey data from the annual losses due to flood in Iran and the world show the extent of the flood damage caused on natural and human resources. To estimate height of the runoff and discharge maximum in basins and stream erosion, there are various experimental methods and mathematical models that one of these models, SCS model is. Thus, the aim of this study was to estimate the Runoff coefficient and Maximum discharge by Curve Number method with different units forming the Fyruzkla Kojoor basin and zoning maps of potential runoff and stream erosion in the drainage basin is. After mapping the watershed CN and S, to calculate the volume of runoff produced in the region, short-term rainfall for different return periods were calculated using Pearson distribution of type III. According to the map of potential runoff in the basin, forest land has the lowest runoff potential and pasture lands have the greatest potential to generate runoff and erosion is occurring and also has the lowest penetration. The middle part of the basin, the most prone to runoff and erosion and gully formation in the region are. After determining the height of the basin surface runoff, peak discharge was calculated for various hydrological. The highest values of maximum flow rate are based on rangeland with hydrologic group D.

Keywords:

Flood, Curve number, Runoff, Kojoor, Peak flow, Stream erosion

^۱ Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, m_hoseinzadeh@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

پدیده سیل یکی از مخاطرات طبیعی ایران است که به فراوانی در نقاط مختلف کشور می‌توان شاهد رخداد آن بود. به عبارتی دیگر ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد است (احمدی ایلخچی و همکاران، ۱۳۸۱). طبق بررسی‌های به عمل آمده از سیل‌های مخاطره‌آمیز در دهه‌های گذشته (۸۰-۱۳۳۰) تعداد ۳۷۰۰ سیل مخاطره‌آمیز در ایران به ثبت رسیده است (خسروشاهی، ۱۳۸۷). آمارهای منتشر شده توسط سازمان ملل متحد نشان می‌دهد در یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۶۷-۱۹۹۹) در کل دنیا ۱۳۸۵ مورد سیل مهم اتفاق افتاده است که شامل ۱۳/۵ درصد کل بلایای طبیعی رخ داده در کل دنیا است (معاونت پژوهش و مطالعات پایه مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۵). یکی از مهم‌ترین تبعات سیل وقوع فرسایش است. فرسایش شیب‌ری یا آبراهه‌ای، در دامنه کوه‌ها و حتی در سطح زمین‌های کم شیب نیز به سهولت اتفاق می‌افتد. جریان‌های متمرکز آب‌ها باعث کنده شدن کف بستر مجاری آب می‌گردد. در نتیجه عمق بستر افزایش پیدا کرده و کناره‌های آن نیز ریزش یا لغزش پیدا می‌کنند (رفاهی، ۱۳۷۵). عوامل تأثیرگذار بر وقوع سیلاب می‌تواند طبیعی و یا دخالت‌های انسانی باشد. در بخش طبیعی می‌توان به خصوصیات حوزه آبخیز و در بخش انسانی نیز بهره‌برداری‌های غیراصولی انسان از طبیعت نقش اصلی را دارد.

بررسی آمار و اطلاعات خسارت‌های سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها در ایران و جهان بیانگر گستردگی صدمات ناشی از وقوع سیلاب بر منابع طبیعی و انسانی است. لذا برنامه‌ریزی با هدف مهار و کنترل سیلاب نیازمند شناسایی منطقه در ایجاد رواناب و وقوع سیلاب می‌باشد. از جمله روش‌هایی که با فراهم شدن امکان دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در محاسبه رواناب ناشی از یک بارش معین بکار رود، مدل‌های هیدرولوژیک می‌باشد. این مدل‌ها می‌توانند با لحاظ توزیع مکانی خصوصیات بارش و حوزه آبخیز، برآوردهای قابل قبولی را فراهم کنند (دوونک، ۲۰۰۰). یکی از روش‌های موجود در این زمینه روش SCS است که توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا ارائه شده است. در این روش با استفاده از ویژگی‌های محیطی، میزان رواناب محاسبه می‌شود. روش SCS نیاز به برآورد شماره منحنی (CN) دارد که از روی ویژگی‌های خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و شرایط رطوبت قبلی خاک محاسبه می‌شود (مهدوی، ۱۳۹۰).

بالز و بستون (۱۹۸۱) از شماره منحنی استفاده کرده و نشان دادند که رواناب حاصل از باران نسبت به تغییرات شاخص شماره منحنی بسیار حساس است. همچنین تحقیق آن‌ها گویای تأثیر زیاد کاربری اراضی و خصوصیات فیزیکی خاک بر روی شماره منحنی می‌باشد. زاهان و هوهانگ (۲۰۰۴) از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی برای تعیین شماره منحنی و محاسبه نفوذ آب برای یک بارندگی مشخص در حوزه‌ای در کانزاس ایالات متحده استفاده نموده‌اند. میشرا و همکاران (۲۰۰۶) با ارتباط بین دو روش SCS و USLE به ارزیابی تولید بار رسوبی ناشی از بارش باران پرداختند. ایم و همکاران (۲۰۰۷) برای برآورد شماره منحنی برای زمین‌های شالیزار مسطح و آبیاری شده از داده‌های اندازه‌گیری شده بارش و رواناب استفاده کردند.

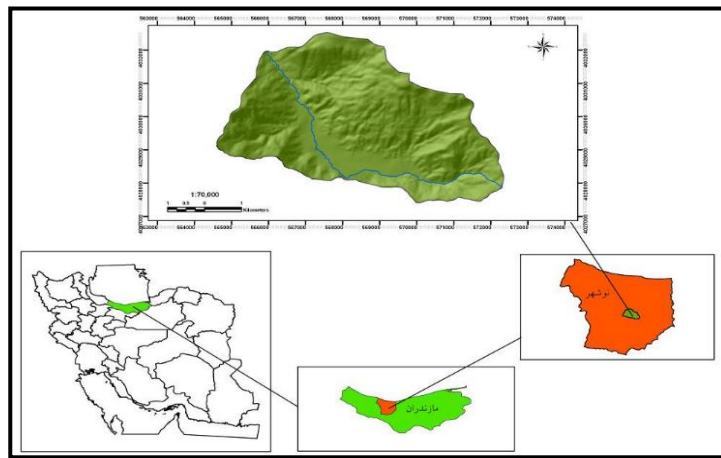
در ایران نیز محققین بسیاری از روش SCS برای برآورد رواناب در مناطق مختلف بهره گرفته‌اند که اهم آن‌ها عبارتند از نصرتی (۱۳۷۹) در حوزه آبخیز گاورود، عبدی و رسولی (۱۳۸۰) در حوزه زنجان رود، غیائی و همکاران (۱۳۸۳) در حوزه آبخیز البرز شمالی، رضوی و همکاران (۱۳۸۵) در حوزه آبخیز امامه، قهرودی تالی (۱۳۸۵) در حوزه آبخیز سد کرج و همچنین نشاط و صدقی (۱۳۸۵) در حوزه آبخیز باغ ملک پرداختند. نقطه مشترک تحقیقات فوق استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور برای استخراج اطلاعات بوده و نتایج تحقیقات نیز گویای تأثیر ویژگی‌های فیزیکی حوزه بر شماره منحنی و در نهایت رواناب می‌باشد. بنابراین هدف این مطالعه برآورد ضریب رواناب و دبی اوج سیل با استفاده از روش شماره منحنی در واحدهای مختلف تشکیل دهنده حوزه فیروزکلای کجور و پهنه‌بندی توان تولید رواناب در حوزه می‌باشد. در راستای این مطالعه ضرورت شناخت ویژگی‌های محیطی مؤثر بر رواناب و وقوع سیل احساس می‌شود.

۲- مواد و روش

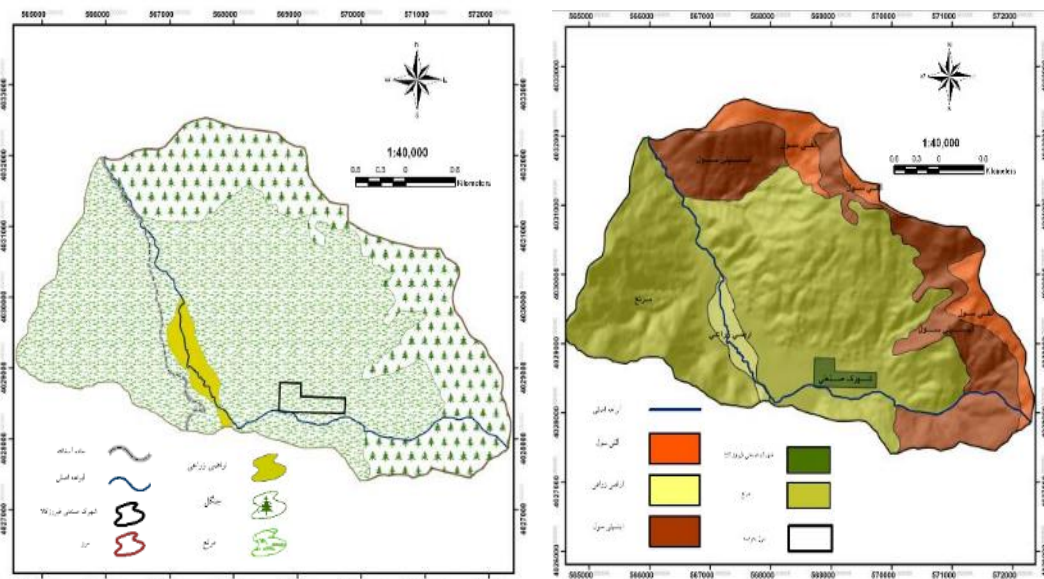
یکی از مناطق مستعد سیلاب در ایران دامنه‌های شمالی البرز می‌باشد. منطقه مورد مطالعه یعنی حوزه فیروزکلا از زیرحوزه‌های کجور در استان مازندران با مساحتی معادل ۲۴/۴۷ کیلومتر مربع نیز با توجه به شرایط طبیعی، مستعد ایجاد رواناب و وقوع سیلاب می‌باشد. نزدیکترین آبادی به آن روستای فیروزکلای سفلی می‌باشد که در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه واقع شده است.

محدوده مورد مطالعه بین تا طول شرقی و تا عرض شمالی واقع شده است. رودخانه کجور با جهت جنوبی-شمالی به طول ۹/۸۸ کیلومتر پس از عبور از صلاح‌الدین کلا در محل پارک سی سنگان به دریای خزر می‌ریزد. حداقل، حداکثر و متوسط ارتفاع حوزه به ترتیب ۱۳۴۰، ۲۳۴۰ و ۱۶۴۰ متر، شیب متوسط آن ۳۷/۲۴ درصد و تراکم زهکشی نیز ۷/۶۳ است. این حوزه از سمت شرق به گلندرد و از سمت غرب و جنوب و شمال به حوزه کجور محدود می‌شود (شکل ۱).

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در چهار گوش بلده (۱:۱۰۰۰۰۰) قرار گرفته که خود جزئی از دیوار شمالی البرز مرکزی (مشرف به جلگه مازندران) است و کوه‌های مهم آن کلارستاق (۳۵۶۹ متر) و کجور (۲۷۴۰ متر) می‌باشند. واحدهای سنگی حوزه به دو قسمت شامل سازند شمشک مربوط به دوره تریاس بالایی و ژوراسیک میانی، مجموعه سنگ‌های آهکی مربوط به دوره کرتاسه متعلق به دوران دوم زمین‌شناسی و رسوبات کواترنری متعلق به دوران چهارم زمین‌شناسی تقسیم می‌شود. رژیم بارش منطقه متأثر از رژیم بارندگی خزری بوده و میانگین بارندگی سالانه در حوزه ۳۴۰/۳ میلی‌متر است. متوسط دما در تابستان ۱۶/۴ و در زمستان ۳/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. ویژگی و پراکندگی خاک و پوشش گیاهی حوزه در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور، استان مازندران، شهرستان نوشهر



شکل ۳: نقشه پوشش گیاهی حوزه

شکل ۲: نقشه خاک حوزه

در این روش که بر اساس مشاهدات متعدد در حوزه‌های معرف و در اقلیم مختلف آمریکا بنا شده است، ارتفاع رواناب ناشی از باران از رابطه ۱ به دست می‌آید که در مورد بارش‌های به صورت برف نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و آب پایه را نیز در بر نمی‌گیرد:

$$Q = \frac{(P - 0/2S)^2}{P + 0/8S} \quad P > 0/2S \quad \text{رابطه (۱):}$$

که در آن: Q = ارتفاع رواناب، P = ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته، S = حداکثر توان نگهداری^۱، نفوذ در خاک و ذخیره سطحی مقدار S در رابطه با نوع پوشش و نحوه بهره‌برداری از اراضی و وضعیت سطح خاک از نظر نفوذپذیری و داخل خاک از نظر انتقال^۲ می‌باشد. بارندگی‌های متوالی، مقدار S را کاهش داده و فرصتی به خاک برای هوا خوردن و زهکشی و تبخیر و تعرق نمی‌دهند و در نتیجه برای S یک مقدار حداقل و یک مقدار حداکثر وجود داشته که بستگی به رطوبت قبلی خاک دارد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در حوزه‌های مختلف نشان داده که از کل تلفات بالقوه حوزه یا S به طور متوسط، حدود ۰/۲ آن قبل از شروع جریان یافتن هزر آب به صورت تلفات اولیه عمل کرده و ۰/۸ بقیه آن در طول بارش، صرف نفوذ سطحی در خاک می‌گردد. بنابراین در هر مورد چنانچه ارتفاع بارندگی کمتر از $0/2S$ باشد، فرض می‌شود که رواناب به وجود نخواهد آمد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که ضریب ۰/۲ برای S شاید برای رگبارهای بزرگ در مناطق غیرشهری مناسب باشد ولی برای رگبارهای کوچک و متوسط زیاد می‌باشد و احتمالاً برای مناطق شهری نیز زیاد است. جمع مقدار نفوذ برای یک رخ داد بارش به صورت رابطه ۲ خواهد بود:

$$F = \frac{(P - 0/2S)S}{P + 0/8S} \quad P > 0/2S$$

F (شدت نفوذ) برابر است با (رابطه ۳):

$$F = \frac{df}{dt} = \frac{S^2 i}{(p + 0/8S)^2}$$

که i شدت بارش $i = \frac{dp}{dt}$ می‌باشد.

مقدار تلفات کل یا S توسط رابطه‌ای با یک عامل بدون بعد^۳ به نام CN ^۴ ارتباط می‌یابد (رابطه ۴ و ۵)

$$S = \frac{2540}{CN} - 25/4 \quad \text{رابطه (۴) بر حسب سانتی‌متر}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{رابطه (۵) بر حسب میلی‌متر}$$

پس از تعیین مقدار CN مقدار S مشخص شده و با در نظر گرفتن بارندگی ارتفاع رواناب محاسبه می‌شود. مقدار CN بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. در CN برابر صفر، روانابی از بارندگی حاصل نیامده و در CN برابر ۱۰۰ تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر ارتفاع بارندگی خواهد بود. برای احتیاط این روش برای CN کمتر از ۴۰ نباید مورد استفاده قرار گیرد. چون در این حالت خطای محاسبه زیاد خواهد بود. شماره منحنی CN به نوبه خود از روی مشخصات خاک، نوع بهره‌وری از زمین و شرایط رطوبت قبلی خاک به صورت زیر تعیین می‌گردد (مهدوی، ۱۳۸۶). برای بررسی ارتباط متغیر ارتفاع رواناب در ایجاد آبراهه ابتدا تراکم زهکشی برای کل منطقه محاسبه گردید (شکل ۴).

۱ Interception

۲ Transmission

۳ Dimensionless

۴ Curve number

بدین منظور متغیر آبراهه به عنوان معلول فرسایش آب بر روی دامنه، به عنوان متغیر وابسته و متغیر ارتفاع رواناب که متأثر از گروه‌های هیدرولوژیک، شماره منحنی و نفوذپذیری خاک می‌باشد به عنوان متغیر مستقل مد نظر قرار گرفت و هر یک از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی هم‌پوشانی شده و بر پایه آن طول آبراهه‌ها در کلاس‌های مختلف هر یک از متغیرهای وابسته به دست آمد. در ادامه به منظور نرمال‌سازی داده‌ها، طول آبراهه در هر یک از کلاس‌ها بر مساحت آن‌ها تقسیم و در نهایت تراکم زهکشی برای هر یک از کلاس‌های مربوط به متغیرهای مستقل به دست آمد و در نهایت به مقایسه و تحلیل آن‌ها اقدام شده است.

۳- نتایج

گروه‌های هیدرولوژیک خاک^۱:

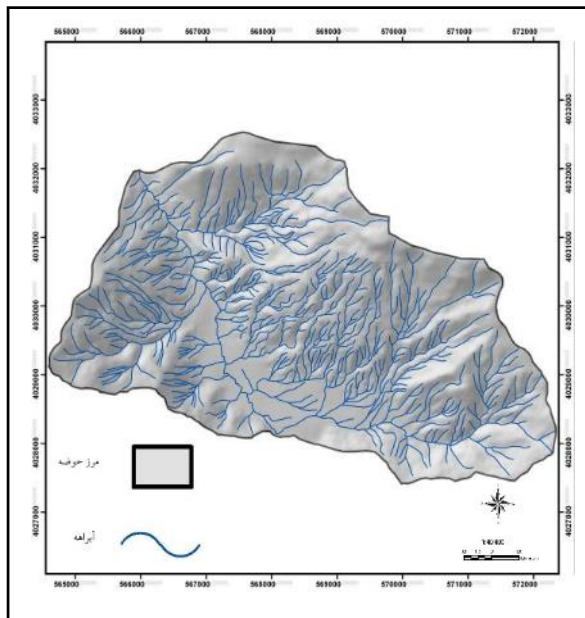
خصوصیات خاک روی تحول و پیدایش رواناب اثر داشته و باید در محاسبات مربوط به آن در نظر گرفته شوند. این خصوصیات

می‌تواند با عامل هیدرولوژیک حداقل سرعت نفوذپذیری در حالت مرطوب بودن طولانی مدت خاک بیان گردد. در این مورد، نوع سطح و افق‌های خاک در نظر گرفته می‌شود. تمام خاک‌ها بر اساس توان ایجاد رواناب در چهار گروه تقسیم شده که هر گروه می‌تواند در صورت نیاز به دقت بیشتر، به زیر گروه‌هایی تقسیم شود.

گروه‌های اصلی خاک تعیین شده توسط SCS (سازمان حفاظت خاک آمریکا) عبارتند از: گروه (A) خاک‌های با شدت نفوذپذیری بالا حتی هنگامی که کاملاً مرطوب هستند، دارای زهکشی خوبی بوده و آبگذری بالایی داشته و خاک‌های شنی و قلوه‌سنگی عمیق را شامل می‌گردند، توان تولید رواناب در این خاک‌ها ضعیف است.

گروه (B) خاک‌های با شدت نفوذپذیری متوسط، هنگامی که مرطوب هستند، خاک‌هایی که عمیق بوده و زهکشی متوسط تا خوب داشته و دارای بافت ریز تا متوسط هستند. آبگذری آن‌ها متوسط بوده، توانایی متوسطی از نظر تولید رواناب دارند.

گروه (C) خاک‌هایی با نفوذپذیری کم، هنگامی که مرطوب هستند اغلب دارای لایه‌ای هستند که مانع نفوذ آب به قسمت‌های پایین‌تر می‌گردد و یا دارای بافت ریز تا نسبتاً ریز بوده و ضریب آبگذری کمی دارند. توانایی تولید رواناب آن‌ها نسبتاً زیاد است. گروه (D) خاک‌های با نفوذپذیری کم هنگامی که خیس هستند و عمدتاً شامل خاک‌های رسی، خاک‌های با یک سفره آب بالا دائمی خاک‌های با لایه‌های سخت رسی در سطح و یا نزدیک آن و خاک‌های کم عمق روی تشکیلات تقریباً غیرقابل نفوذ هستند. این خاک‌ها دارای قابلیت انتقال خیلی کم بوده و قسمت‌های سنگی حوزه و سطح جاده نیز شامل این گروه می‌گردند. در این گروه توانایی تولید رواناب زیادی وجود دارد. گروه‌های هیدرولوژیک خاک با توجه به حداقل نفوذپذیری بر اساس جدول ۱ تقسیم‌بندی می‌شوند.



شکل ۴: نقشه شبکه هیدروگرافی حوزه مورد مطالعه

جدول ۱: حداقل شدت نفوذ در گروه‌های هیدرولوژیک خاک (مهدوی، ۱۳۸۶)

توانایی تولید رواناب	نوع خاک	شدت نفوذ به اینچ بر ساعت	گروه‌های هیدرولوژیک
کم	شنی و قله‌سنگی	بیش از ۳	A
متوسط	شنی لومی - شنی رسی	۱/۵-۳	B
نسبتاً زیاد	لومی، لومی رسی دارای لایه سخت در عمق خاک	۰/۵-۱/۵	C
خیلی زیاد	رسی، خاک‌های شور، سنگ، جاده آسفالت، بتون خاک‌های کم عمق	کمتر از ۰/۵	D

در حوزه‌های بزرگ که دارای چندین گروه خاک می‌باشند باید سطح و موقعیت هر یک از گروه‌ها در نظر گرفته شوند و گروه‌هایی را که مساحت آن‌ها کمتر از ۳ درصد مساحت کل حوزه است می‌توان حذف کرد. با این وجود سطوح غیرقابل نفوذ باید همواره در نظر گرفته شوند (مهدوی، ۱۳۸۶).

وضعیت هیدرولوژیک اراضی^۱:

وضعیت هیدرولوژیک، بیانگر توان ایجاد رواناب در یک منطقه بوده و چنانچه این توان کم باشد شرایط هیدرولوژیک خوب است. در اراضی کشاورزی، با توجه به نحوه کشت و عملیات اصلاحی دو وضعیت، خوب و ضعیف در نظر گرفته می‌شود. وضعیت هیدرولوژیک در مراتع را می‌توان از راه‌های مختلفی تعیین نمود. در این مورد جدول ۲ بر حسب شدت چرا و تراکم پوشش گیاهی ارائه گردیده است.

جدول ۲: وضعیت هیدرولوژیک مراتع بر حسب شدت چرا و تراکم پوشش گیاهی (مهدوی، ۱۳۸۶)

وضعیت هیدرولوژیک	وضعیت
فقیر	چرای سنگین با پوشش کمتر از ۵۰٪ (شامل گیاه و سنگریزه)
متوسط	چرای متوسط با پوشش بین ۵۰ تا ۷۵ درصد چرای سبک
خوب	با پوشش بیش از ۷۵ درصد

ویژگی‌های هیدرولوژیک در مراتع مشجر و بیشه‌زارها و مناطق جنگلی بستگی به عواملی مانند درصد پوشش، ارتفاع لاشبرگ، ضخامت و نوع هوموس وضعیت چرا و شدت بهره‌برداری دارد. جدول ۳ وضعیت هیدرولوژیک را در مراتع مشجر بیشه‌زارها نشان می‌دهد (مهدوی، ۱۳۸۶).

جدول ۳: وضعیت هیدرولوژیک مراتع مشجر و بیشه‌زار (مهدوی، ۱۳۸۶)

وضعیت هیدرولوژیک	وضعیت مراتع و بیشه‌زارها
فقیر	چرای مفرط همراه با آتش‌سوزی متناوب و تخریب لاشبرگ درختچه‌ها
متوسط	چرای دام انجام می‌شود آتش‌سوزی نداشته و کمی لاشبرگ در سطح زمین وجود دارد
خوب	بدون چرای دام و همراه با بوته و لاشبرگ

وضعیت رطوبت پیشین (A.M.C)^۲

یکی از عوامل مهم در کاهش شدت نفوذ و در نتیجه افزایش رواناب، رطوبت قبلی خاک می‌باشد و توان خاک جهت نفوذ، هنگامی بیشترین مقدار خود را دارد که خاک خشک باشد. در روش شماره منحنی، تغییرات S در رابطه با وضعیت رطوبت پیشین خاک (A.M.C) بررسی شده و سه حالت مختلف در نظر گرفته شده است. در حالت اول مقدار S حداکثر بوده و خاک رطوبت کمی را

^۱ Hydrologic condition

^۲ Antecedent Moisture Condition

دارا می‌باشد و توان تولید رواناب آن ضعیف است. در حالت دوم، خاک رطوبت متوسطی دارد و در حالت سوم خاک تقریباً اشباع بوده و S کمترین مقدار خود را دارد و توان تولید رواناب زیاد است. عامل دیگری نیز که باید در نظر گرفت فعال یا غیرفعال بودن عمل تعرق گیاهی است که می‌تواند رطوبت خاک تا حدی کاهش دهد، بنابراین فصل رشد یا خواب گیاهی نیز باید در محاسبات لحاظ گردد. شرایط رطوبت قبلی خاک را می‌توان از جدول ۴ و بر اساس مجموع بارندگی طی مدت ۵ روز قبل از روز مورد نظر به دست آورد (مهدوی، ۱۳۸۶).

جدول ۴: وضعیت رطوبت پیشین خاک

گروه رطوبتی خاک	فصل رشد	فصل خواب
I	کمتر از ۳۶ میلی‌متر	کمتر از ۱۳ میلی‌متر
II	۳۶-۵۳ میلی‌متر	۱۳-۲۸ میلی‌متر
III	بیش از ۵۳ میلی‌متر	بیش از ۲۸ میلی‌متر

تعیین شماره منحنی برای مجموعه‌های خاک، پوشش گیاهی:

پس از مشخص شدن گروه‌های هیدرولوژیک خاک، وضعیت بهره‌وری و شرایط هیدرولوژیک با استفاده از جدول ۵ (مهدوی، ۱۳۸۶) شماره منحنی برای شرایط پیشین متوسط (حالت II) به دست می‌آید. چنانچه شرایط رطوبت پیشین خاک حالت II نباشد شماره منحنی به دست آمده از جدول مربوط (رجوع شود به مهدوی، ۱۳۸۶)، شماره منحنی اصلاح شده برای شرایط جدید به دست می‌آید (مهدوی، ۱۳۸۶).

در صورتی که شرایط حوزه از نظر عوامل موثر بر شماره منحنی یکنواخت نباشد باید میانگین وزنی آن را برای کل حوزه محاسبه کرد (علیزاده، ۱۳۹۰). پس از تعیین ارتفاع رواناب سطحی ناشی از رگبار، دبی حداکثر با استفاده از رابطه ۶ به دست آمد.

$$Q_p = \frac{0.0208AR}{0.6Tc + \sqrt{Tc}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن A مساحت حوزه به هکتار، R ارتفاع رواناب (سانتی‌متر)، Tc زمان تمرکز (ساعت) و Q_p دبی اوج رواناب (مترمکعب بر ثانیه) می‌باشد. زمان تمرکز (Tc) بستگی به طول آبراهه اصلی، شیب و شرایط هیدرولوژیک مسیر جریان دارد. در این مطالعه از رابطه کالیفرنیا برای محاسبه آن استفاده شده است و مقدار آن در حوزه ۰/۳۹ ساعت محاسبه گردیده است.

تجزیه و تحلیل پارامترها مؤثر در روش SCS در منطقه مورد مطالعه:

در این تحقیق جهت تعیین گروه‌های هیدرولوژیک خاک از مطالعات انجام شده در اداره کل منابع طبیعی نوشهر و آزمایش‌های خاک انجام شده در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. که بر اساس آن‌ها، حوزه مورد مطالعه به سه گروه هیدرولوژیک B، C و D تقسیم می‌شود (شکل ۵). که گروه C دارای بیشترین مساحت می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۵: تعیین شماره منحنی (CN) برای مجموعه‌های هیدرولوژیکی خاک پوشش گیاهی (حالت II رطوبت پیشین) (مهدوی، ۱۳۸۶)

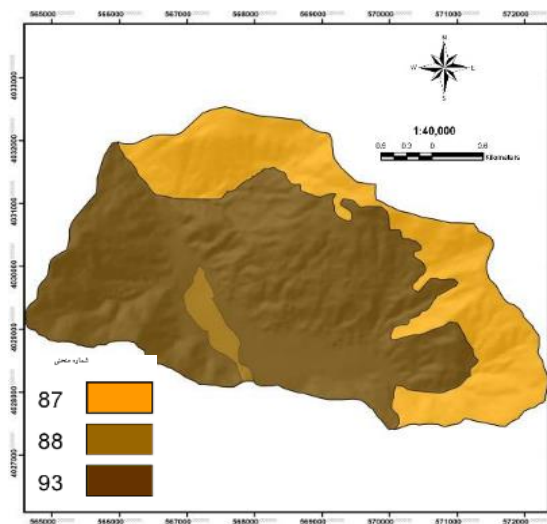
گروه هیدرولوژیکی خاک				وضعیت هیدرولوژیکی	عملیات زراعی و یا کارهای اصلاحی	نوع بهره‌برداری از زمین
D	C	B	A			
۹۴	۹۱	۸۶	۷۷			آبش
۹۱	۸۸	۸۱	۷۲	فقیر	کشت خطی مستقیم	زراعت خطی
۸۹	۸۵	۷۸	۶۷	خوب	کشت خطی مستقیم	
۸۸	۸۴	۷۹	۷۰	فقیر	کشت روی خطوط تراز	
۸۶	۸۲	۷۵	۶۵	خوب	کشت روی خطوط تراز	
۸۲	۸۰	۷۴	۶۶	فقیر	کشت روی خطوط تراز	
۸۱	۷۸	۷۱	۶۲	خوب	در داخل تراس‌ها کشت روی خطوط تراز در داخل تراس‌ها	
۸۸	۸۴	۷۶	۶۵	فقیر	کشت ردیفی	غلات
۸۷	۸۳	۷۵	۶۳	خوب	کشت ردیفی	
۸۵	۸۲	۷۴	۶۳	فقیر	کشت روی خطوط تراز	
۸۴	۸۱	۷۳	۶۱	خوب	کشت روی خطوط تراز	
۸۲	۷۹	۷۲	۶۱	فقیر	کشت روی خطوط تراز	
۸۱	۷۸	۷۰	۵۹	خوب	در داخل تراس‌ها کشت روی خطوط تراز در داخل تراس‌ها	
۸۹	۸۵	۷۷	۶۶	فقیر	کشت خطی مستقیم	بقولات انبوه یا تناوب کشت علوفه
۸۵	۸۱	۷۲	۵۸	خوب	کشت خطی مستقیم	
۸۵	۸۳	۷۵	۶۴	فقیر	کشت روی خطوط تراز	
۸۳	۷۸	۶۹	۵۵	خوب	کشت روی خطوط تراز	
۸۳	۸۰	۷۳	۶۳	فقیر	کشت روی خطوط تراز	
۸۰	۷۶	۶۷	۵۱	خوب	در داخل تراس‌ها کشت روی خطوط تراز در داخل تراس‌ها	
۸۹	۸۶	۷۹	۶۸	فقیر		مرتع طبیعی یا کشت شده
۸۴	۷۹	۶۹	۴۹	متوسط		
۸۰	۷۴	۶۱	۳۹	خوب		
۸۸	۸۱	۶۷	۴۷	فقیر	کشت روی خطوط تراز	
۸۳	۷۵	۵۹	۲۵	متوسط	کشت روی خطوط تراز	
۷۹	۷۰	۳۵	۶	خوب	کشت روی خطوط تراز	
۷۸	۷۱	۵۸	۳۰	خوب		چمن زار
۸۳	۷۷	۶۶	۴۵	فقیر		پیشه‌زار و جنگل پیشه‌زار و جنگل مزارع شخصی جاده خاکی جاده شوسه
۷۹	۷۳	۶۰	۳۶	متوسط		
۸۶	۸۲	۷۴	۵۹			
۸۹	۸۷	۸۲	۷۲			
۹۲	۹۰	۸۴	۷۴			

در مرحله بعد با استفاده از کاربری اراضی حوزه مورد مطالعه و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و با استفاده از جدول‌های مربوط به شماره منحنی (جدول ۵) و با در نظر گرفتن وضعیت رطوبتی خاک در حالت کم برای هر محدوده شماره منحنی (CN) استخراج و نقشه CN تهیه شده است.

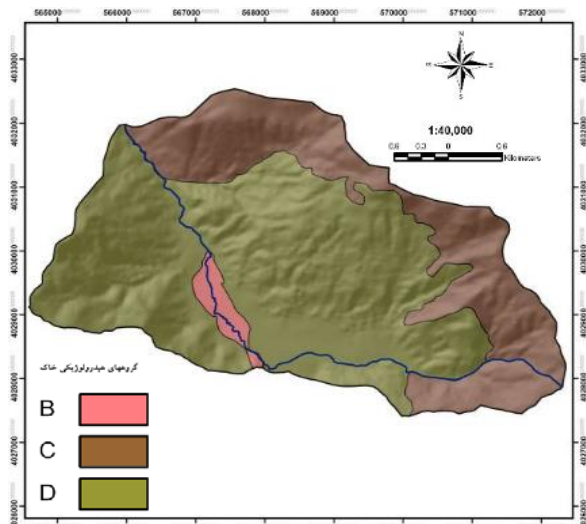
جدول ۶: معیار طبقه‌بندی گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوزه مورد مطالعه

D	C	B	گروه‌های هیدرولوژیک خاک و ویژگی
بسیار کم	کم	متوسط	نرخ نفوذ
خیلی زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	توانایی تولید رواناب
۱۶/۱۶	۷/۷۳	۰/۵۷۸	مساحت (کیلومتر مربع)

در منطقه مورد مطالعه با توجه به روشی که برای تعیین رطوبت پیشین آورده شده وضعیت رطوبتی خاک مورد مطالعه در گروه رطوبتی یک قرار دارد. اما با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه در فصل بارندگی حتی چندین روز بعد از بیشترین میزان بارش، همچنان خاک مرطوب است، اگر در گروه رطوبتی یک (خشک) قرار گیرد اعدادی که از جدول CN به دست می‌آید و اعداد میزان نفوذ (S) و ارتفاع رواناب (Q) اعداد غیر واقعی خواهند بود. در این مورد نظر کارشناسان آبخیزداری منطقه هم مؤید این مطلب می‌باشد. به همین خاطر در تعیین CN از گروه رطوبتی سه (مرطوب) استفاده شده است و اعداد جدول ۷ از اطلاعات موجود در جدول ۵ به دست آمد و بر اساس آن نقشه شماره منحنی (CN) حوزه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۶).



شکل ۶: نقشه شماره منحنی حوزه مورد مطالعه



شکل ۵: نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوزه مورد مطالعه

نقشه CN حوزه در واقع نشان‌دهنده میزان نفوذپذیری سازندهای حوزه می‌باشد. چنانچه مشاهده می‌شود در قسمت‌های میانی و غربی حوزه که شامل سازند شمشک می‌باشد نفوذپذیری نسبت به مناطق شرقی و شمالی حوزه که از بافت درشت تری تشکیل شده کمتر می‌باشد به گونه‌ای که در نقشه مذکور بالاترین ارزش شماره منحنی ۹۳ می‌باشد که دارای پوشش مرتعی و متشکل از سازند شمشک می‌باشد.

جدول ۷: تعیین شماره منحنی (CN) با توجه به نوع کاربری حوزه مورد مطالعه

گروه‌های هیدرولوژیکی	B	C	D
نوع کاربردی			
مزارع شخصی	۸۸	-	-
مرتع طبیعی	-	-	۹۳
بیشه‌زار و جنگل	-	۸۷	-

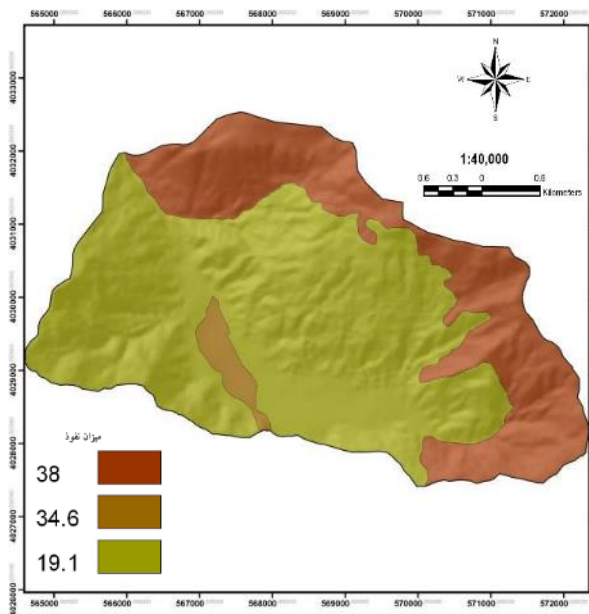
بعد از تهیه نقشه (CN) و در این مرحله از تحقیق از طریق رابطه $S = \frac{25400}{CN} - 254$ و اعداد تعیین شده برای CN طبق جدول ۷ مقدار S یا همان حداکثر توان نگهداری و مربوطه به انترسپشن و نفوذ در خاک و ذخیره سطحی محاسبه شد (جدول ۸) و نقشه میزان نفوذ تهیه شد (شکل ۷).

جدول ۸: گروه‌های هیدرولوژیک و شماره منحنی و ضریب نگهداشت سطحی در کاربری‌های مختلف حوزه مورد مطالعه

نوع کاربری	نام گروه هیدرولوژیک	شماره منحنی (CN)	مقدار S (mm)
مزارع شخصی	B	۸۸	۳۸
مرتع طبیعی	D	۹۳	۱۹/۱
بیشه‌زار و جنگل	C	۸۷	۳۴/۶

بعد از تهیه نقشه (CN) و (S) حوزه، برای محاسبه حجم رواناب تولید شده در منطقه نیاز به تعیین مقدار بارندگی منطقه می‌باشد تا بتوان بر اساس روابط موجود حجم رواناب تولیدی در قسمت‌های مختلف حوزه مورد مطالعه را محاسبه نمود.

پس از جمع‌آوری آمار بارندگی روزانه ایستگاه کدیر، حداکثر بارش روزانه آن استخراج شد. با توجه به اینکه برآورد بارش‌های کوتاه مدت برای دوره بازگشت‌های مختلف در این تحقیقات کاملاً ضروری به نظر می‌رسد، انتخاب توزیع مناسب جهت پردازش داده‌های آماری (حداکثر بارش‌های روزانه) با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری اسمادا^۱ انجام گرفته است و توزیع پیرسون تیپ III مناسب‌ترین توزیع با بیشترین برآزش تعیین شد. در نهایت مقادیر حداکثر بارش روزانه برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه گردید (جدول ۹).



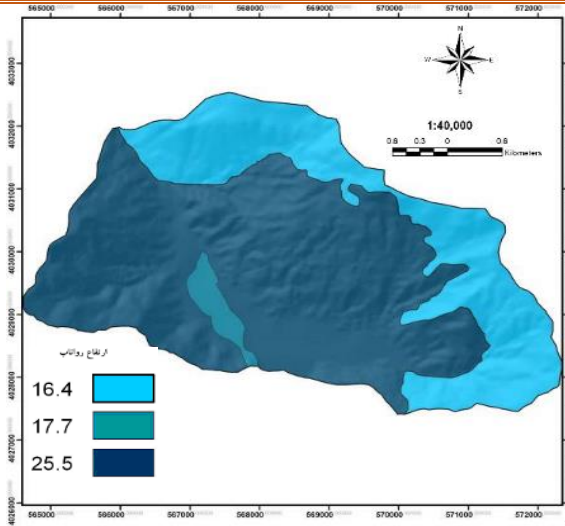
شکل ۷: نقشه میزان نفوذ خاک حوزه مورد مطالعه

جدول ۹: احتمال وقوع بارندگی برای دوره بازگشت‌های مختلف

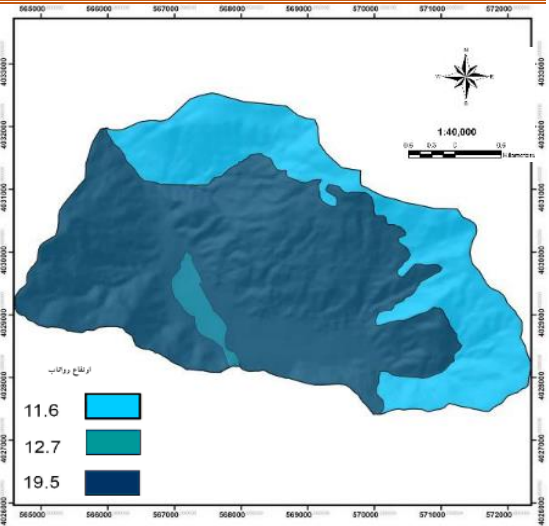
ردیف	احتمال وقوع	دوره برگشت	مقدار پیش‌بینی	انحراف استاندارد
۱	۰/۵	۲	۳۵/۱۶	۳/۲۵
۲	۰/۸	۵	۴۲/۱۲	۲/۸
۳	۰/۹	۱۰	۴۵/۲۷	۳
۴	۰/۹۶	۲۵	۴۸/۲۷	۳/۹۵
۵	۰/۹۸	۵۰	۵۰	۵
۶	۰/۹۹	۱۰۰	۵۱/۴۸	۶/۲

پس از به دست آوردن مقادیر بارش ۲۴ ساعته برای دوره برگشت‌های مختلف (جدول ۹) و مقادیر نفوذ (S) (جدول ۸) و با استفاده از رابطه $Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8}$ ارتفاع رواناب برای حوزه مورد مطالعه در دوره برگشت‌های مختلف محاسبه شد (شکل‌های ۸ تا ۱۳).

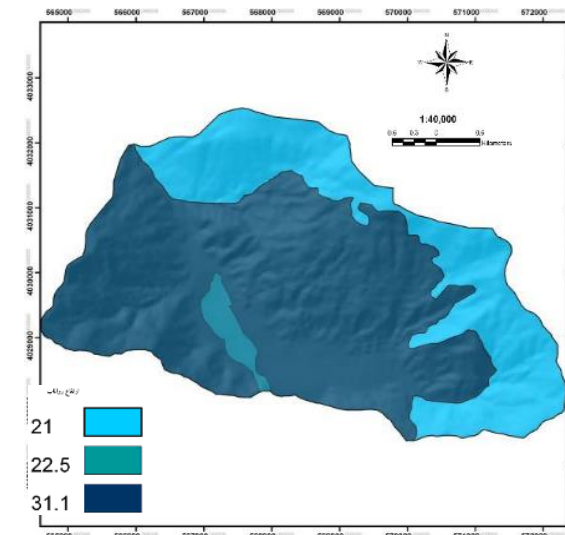
برآورد ارتفاع و دبی اوج رواناب در وقوع فرسایش آبراه‌های در منطقه کجور



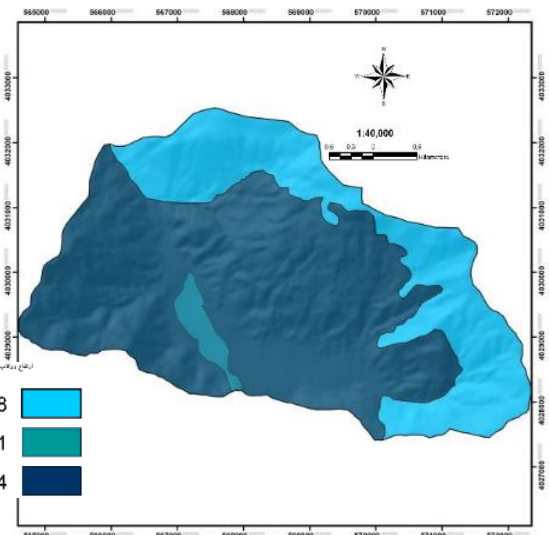
شکل ۷: نقشه ارتفاع رواناب (میلی‌متر) با دوره برگشت ۷



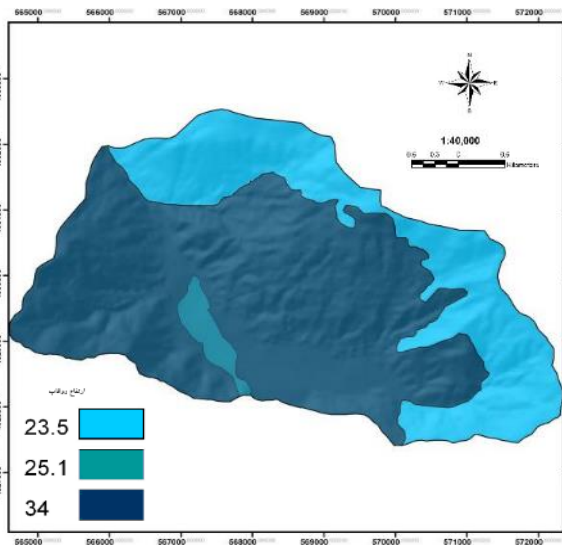
شکل ۸: نقشه ارتفاع رواناب (میلی‌متر) با دوره برگشت ۲



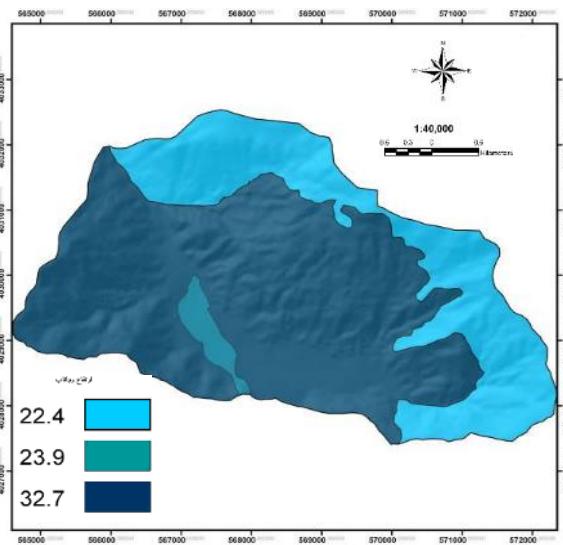
شکل ۹: نقشه ارتفاع رواناب (میلی‌متر) با دوره برگشت ۵



شکل ۱۰: نقشه ارتفاع رواناب (میلی‌متر) با دوره برگشت ۱۰



شکل ۱۱: نقشه ارتفاع رواناب (میلی‌متر) با دوره برگشت ۱۰۰



شکل ۱۲: نقشه ارتفاع رواناب (میلی‌متر) با دوره برگشت ۵۰

با توجه به نقشه پتانسیل تولید رواناب حوزه (شکل‌های ۸ تا ۱۳)، اراضی جنگلی دارای کمترین پتانسیل تولید رواناب و اراضی مرتعی دارای بیشترین پتانسیل تولید رواناب و از نظر نفوذ نیز پایین‌ترین مقدار را دارا می‌باشد (جدول ۱۰). در واقع بخش‌های میانی حوزه، بیشترین رواناب منطقه را ایجاد می‌کنند.

پس از تعیین ارتفاع رواناب سطحی حوزه، دبی حداکثر با استفاده از رابطه ۶ برای گروه‌های مختلف هیدرولوژیک (ارضی کشاورزی (B)، اراضی جنگلی (C) و اراضی مرتعی (D)) محاسبه گردید. بیشترین مقادیر دبی حداکثر منطبق بر مراتع با گروه هیدرولوژیک D می‌باشد (جدول ۹). جدول ۱۰ نشان‌دهنده مقادیر دبی حداکثر با دوره بازگشت‌های مختلف بر حسب مترمکعب بر ثانیه است.

نتایج تحقیق نشان داد که بخش‌های منطبق بر حساسیت متوسط و زیاد به فرسایش با پوشش مرتعی بیشترین تراکم زهکشی و طول آبراهه را دارا می‌باشد و منطقه جنگلی با حساسیت کم به فرسایش دارای طول آبراهه و تراکم زهکشی پایینی می‌باشد.

جدول ۱۰: مقادیر مؤلفه‌های موثر بر رواناب و دبی حداکثر با دوره بازگشت‌های مختلف بر حسب مترمکعب بر ثانیه

دوره بازگشت	گروه‌های هیدرولوژیک	حداکثر بارش ۲۴ ساعته	مساحت به هکتار	مقادیر CN	مقادیر نفوذ	ارتفاع رواناب (میلی‌متر)	دبی حداکثر (مترمکعب بر ثانیه)	دبی حداکثر (مترمکعب بر ثانیه)
۲	B	۳۵/۱۶	۵۸	۸۸	۳۸	۱/۹۵	۲/۸۹	۷۸/۲۷
	C						۲۲/۹۴	
	D						۵۲/۴۴	
۵	B	۴۲/۱۲	۵۸	۸۸	۳۸	۲/۵۵	۳/۷۸	۱۰۹/۳
	C						۳۲/۴۴	
	D						۷۳/۰۹	
۱۰	B	۴۵/۲۷	۵۸	۸۸	۳۸	۲/۸۴	۴/۲۱	۱۲۴/۳۹
	C						۳۷/۱۸	
	D						۸۳	
۲۵	B	۴۸/۲۷	۵۸	۸۸	۳۸	۳/۱۱	۴/۶۱	۱۳۹/۰۵
	C						۴۱/۵۳	
	D						۹۲/۹۱	
۵۰	B	۵۰	۵۸	۸۸	۳۸	۳/۲۷	۴/۸۵	۱۴۷/۸۴
	C						۴۴/۳	
	D						۹۸/۶۹	
۱۰۰	B	۵۱/۴۸	۵۸	۸۸	۳۸	۳/۴	۵/۰۴	۱۵۵/۱۶
	C						۴۶/۴۸	
	D						۱۰۳/۶۵	

۴- نتیجه‌گیری

ارتباط بین بارندگی و رواناب یک فرآیند بسیار پیچیده است که درک آن نیازمند شناخت اجزای محیط و پدیده‌های موثر بر ایجاد رواناب است (ملکیان و همکاران، ۱۳۸۳). نتایج تحقیق نشان داد که نوع کاربری اراضی و پوشش گیاهی در سطح حوزه مهم‌ترین پارامتر تعیین‌کننده هدر رفت و نفوذ بارندگی بوده و بر روی رواناب و به تبع آن بر روی دبی اوج حوزه تأثیرگذار است. در این روش محاسبه دقیق شماره منحنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین دقت در محاسبه شماره منحنی نیازمند دقت زیاد در نوع پوشش گیاهی و تراکم آن، همچنین وضعیت نفوذپذیری خاک است. در خصوص دبی اوج نیز ضرورت دارد زمان تمرکز به طور صحیح برآورد گردد.

بر مبنای مطالعه انجام‌شده، در حوزه مورد مطالعه، اراضی مرتعی با شماره منحنی ۹۳ و توان نگهداری ۱۹/۱ میلی‌متر بالاترین میزان رواناب را ایجاد کرده است. در این منطقه با حداکثر بارش ۲۴ ساعته به مقدار ۳۵/۱۶ میلی‌متر با دوره بازگشت ۲ ساله، ۱۹/۵ میلی‌متر رواناب ایجاد شده است. در واقع ضریب رواناب مراتع در حوزه ۰/۵۵ می‌باشد. اما در اراضی جنگلی با شماره منحنی ۸۷، توان نگهداری ۳۸ و با بارش ۲۴ ساعته ۳۵/۱۶ میلی‌متر (با دوره بازگشت ۲ ساله)، ۱۱/۶ میلی‌متر رواناب ایجاد شده است. این پهنه کمترین میزان رواناب را در حوزه ایجاد کرده و ضریب رواناب آن ۰/۳۳ می‌باشد. با توجه به اینکه بیشتر سطح منطقه مرتعی می‌باشد و سهم این نوع پوشش در ایجاد رواناب و دبی حداکثر زیاد است ضرورت دارد به منظور کاهش رواناب و سیل‌خیزی منطقه، پوشش گیاهی جنگلی حفظ، گسترش و مراتع نیز تقویت گردد.

در این تحقیق ارتباط فرسایش آبراهه‌ای با ارتفاع رواناب و عوامل محیطی مرتبط با آن در پوشش جنگلی و مرتعی مد نظر قرار گرفت و نقش هر یک بر فراوانی فرسایش بررسی شد. نتیجه مطالعه گویای تأثیر قاطع نوع پوشش بر روی رواناب و فرسایش در منطقه است یعنی فراوانی طول و تراکم در مناطق مرتعی برتری دارد. تحقیقی که توسط جعفری گرزین در حوزه آبخیز سرخ آباد (مازندران) انجام شده، نشان داد که بین درصد پوشش گیاهی و افزایش فرسایش آبی یک رابطه معکوس وجود دارد. چون با کاهش پوشش گیاهی شرایط جهت تولید رواناب بیشتر شده و در نتیجه افزایش دبی جریان در آبراهه، فرسایش بیشتری در کانال مشاهده شده است.

لازم به ذکر است که حساسیت مدل SCS با افزایش دوره بازگشت افزایش یافته و لزوم کنترل آن و اعتبارسنجی مدل ضرورت پیدا خواهد کرد (ملکی نژاد و کوثری، ۱۳۸۷). این تحقیق گویای این موضوع است که تمامی فعالیت‌ها در راستای کاهش سیل‌خیزی منوط به کاهش مقدار CN می‌باشد. همچنین در محاسبه رواناب، هر چه روش تبدیل بارندگی ثبت‌شده در ایستگاه‌ها به پهنه بارندگی دقیق‌تر باشد، محاسبه رواناب نتایج واقعی‌تری می‌دهد. بنابراین انتخاب روش درون‌یابی مناسب ضرورت دارد (قهرودی، ۱۳۸۵).

۵- مراجع

- ۱- احمدی ایلخچی، ع.، حاج عباسی، م.ع. و جلالیان، ا.، ۱۳۸۱. اثر تغییر کاربری زمین‌های مرتعی به دیم کاری بر تولید رواناب، هدر رفت و کیفیت خاک در منطقه دوراهان، چهارمحال و بختیاری، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۶ (۴)، ص ۱۱۶-۱۰۳.
- ۲- خسرو شاهی، م.، و ثقفیان، ب.، ۱۳۸۱. نقش روندیابی رودخانه در شناسایی و تفکیک مناطق سیل‌خیز در حوزه‌های آبخیز، ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، ص ۸-۱۱.
- ۳- جعفری گرزین، ب.، ۱۳۸۶. معرفی مدل‌هایی برای پیش‌بینی رشد حجم خندق (مطالعه موردی، حوزه آبخیز سرخ آباد، مازندران، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵، ص ۱۱۷-۱۰۹.
- ۴- رفاهی، ح.، ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۰ ص.
- ۵- رضوی، ا.، مجد زاده طباطبایی، م.ر. و موسوی ندوشنی، س. س.، ۱۳۸۵. تعیین مقادیر CN با استفاده از RS و GIS و برآورد سیلاب ناشی از رواناب در حوزه‌های فاقد داده‌های اندازه‌گیری، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، تهران، ص ۴۸۲-۴۶۸.
- ۶- عبدلی، پ.، و رسولی، م.، ۱۳۸۰. گزارش پهنه‌بندی خطر سیل در حوزه آبخیز زنجان‌رود، انتشارات مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۲۴۵ ص.
- ۷- علیزاده، ا.، ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ بیست و سوم، ۴۲۵ ص.
- ۸- گیائی، ن. ق.، عرب خدری، م.، غفاری، ع.، و حاتمی، ح.، ۱۳۸۳. بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های هندسی آبخیزها بر حداکثر دبی لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف، پژوهش و سازندگی، شماره ۱۷ (۱)، ص ۱۰-۲.
- ۹- فرج زاده، م.، و نصرتی، ع.، ۱۳۸۳. پهنه‌بندی حساسیت سیل‌خیزی حوزه آبخیز گاوهرود با استفاده از GIS، علوم جغرافیایی، شماره ۳ (۳ و ۴)، ص ۴۹-۵۸.

- ۱۰- قهرودی تالی، م.، ۱۳۸۵. ارزیابی مدل SCS-CN در تخمین رواناب، مطالعه موردی حوزه سد امیرکبیر، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۷، ص ۶۳-۴۸.
- ۱۱- معاونت پژوهش و مطالعات پایه مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۵. پیش‌نویس راهنمای ارزیابی خطر سیل، استاندارد مهندسی آب، شماره ۲۹۶.
- ۱۲- ملکی نژاد، ح.، و کوثری، م.ر.، ۱۳۸۷. تجزیه و تحلیل حساسیت و بررسی نسبی اهمیت عوامل موثر بر دبی اوج در روش شماره منحنی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۲ (۵)، ص ۴۰-۳۱.
- ۱۳- ملکیان، آ.، محسنی ساروی، م.، و مهدوی، م.، ۱۳۸۳. بررسی کارایی روش شماره منحنی در برآورد عمق رواناب، منابع طبیعی ایران، شماره ۵۷ (۴)، ص ۶۳۳-۶۲۱.
- ۱۴- مهدوی، م.، ۱۳۸۶. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، دانشگاه تهران، تهران، ۲۶۵ ص.
- ۱۵- نشاط، ع.، صدقی، ح.، ۱۳۸۵. برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) و مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز باغ ملک- استان خوزستان، مجله علوم کشاورزی، شماره ۱۲ (۴)، ص ۷۸۷-۷۹۸.
- 16-** Bales, J., & Beston, R.P., 1981. The curve number as a hydrologic index. Proceeding international symposium on rainfall-runoff modeling, Mississippi State University, p.371-389
- 17-** Dovonce, E., 2000. A physically based distributed hydrologic model. Master of Science thesis, the Pennsylvania state university.
- 18-** Im, S., Park, S., and Jang, T., 2007, Application of SCS curve number method for Irrigated Paddy Field, Journal of Civil Engineering, v.11, p. 51-56.
- 19-** Mishra, S.K., Tyagi, J.V., Singh, V. P., and Singh, R., 2006. SCS-CN based modeling of sediment yield. Journal of Hydrology, v. 324, p. 301-322.
- 20-** Zhan, X., and Huang, M., 2004. Arc CN- runoff: ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. Environ. Model Softward, v. 19, p. 875-879.