

"مقاله پژوهشی"

برآورد ارتفاع رواناب جهت تحلیل پتانسیل سیل خیزی حوزه آبخیز مشرف به شهر ملایر سهیلا ملایری^۱ و محمد بشیر گنبد^۲

دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری شهری، دانشگاه ملایر
عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران، (نویسنده مسوول: mbgonbad@ut.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۱۹ صفحه: تا

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: همه ساله با نفوذ سامانه های بارشی و همچنین شرایط محلی که بیشتر تحت تأثیر فعالیت های غیراصولی بشر است، سیل خسارات زیادی به منابع طبیعی، سکونت گاه ها و پروژه ها وارد می کند. گاهی در اثر سیلاب ایستگاه های هیدرومتری تخریب شده و یا اینکه حوزه آبخیز کوچک فاقد ایستگاه هیدرومتری می باشند، در نتیجه برآورد رواناب و دبی های حداکثر سیلاب نیازمند روش مناسبی است تا در این حوضه ها، مقادیر رواناب و سیلاب محاسبه شده و از خسارات آنها پیشگیری شود. پیشگیری از این خسارات زمانی اهمیت دوچندانی دارد که حوضه مورد مطالعه مشرف به مکان هایی با تراکم بالای سکونتگاه و تأسیسات شهری باشد که می تواند جان بسیاری از ساکنین را تهدید نماید. در این تحقیق حوزه آبخیز مشرف به شهر ملایر به منظور برآورد میزان رواناب در هریک از زیر حوضه های آن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها: حوزه آبخیز مشرف به شهر ملایر با وسعت ۱۴۷۰۰ هکتار از شمال تا شمال شرقی شهر کشیده شده است. پردازش مدل رقمی ارتفاعی و بازدیدهای میدانی منجر به شناسایی ۵ زیر حوضه در منطقه مشرف به شهر شد. برای برآورد ارتفاع رواناب و حجم سیلاب در هر زیر حوضه از روش شماره منحنی استفاده شد. شدیدترین واقعه بارش به مقدار ۸۸ میلی متر در روز با دوره بازگشت ۳۰ سال به عنوان بارش طراحی و مقدار بارش پیشین در ۵ روز قبل از این واقعه با مقدار تجمعی ۴۵/۲ میلی متر لحاظ شد. برای محاسبه پارامترهای فیزیکی حوضه در این مطالعه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی، پوشش گیاهی، خاک و همچنین نقشه کاربری اراضی رقمی یا تولید شد. با به کارگیری تصاویر سنتینل-۲ که دارای ۱۳ باند طیفی و توان تفکیک مکانی ۱۰ متری است هم زمانی نقشه های وضعیت کاربری اراضی و بارش طراحی تامین شد. سپس با استفاده از تلفیق لایه های گروه های هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی و با به کارگیری روش سرویس حفاظت خاک ایالات متحده، نقشه شماره منحنی تولید شد. با توجه به مقدار بارندگی ۵ روز قبل و قرارگیری حوضه در شرایط رطوبت پیشین مرطوب، مقدار شماره منحنی برای حالت مرطوب تصحیح شد. مقادیر شماره منحنی با سه رویکرد شماره منحنی وزنی برای هر زیر حوضه، میانگین حسابی شماره منحنی هر زیر حوضه و رویکرد ارتفاع رواناب وزنی برای هر شماره منحنی در واحدهای کاری، مورد مقایسه قرار گرفت. از روش کریپج برای محاسبه زمان تمرکز هریک از زیر حوضه ها استفاده شد. در مرحله بعد با استفاده از داده های بارش حداکثر روزانه ایستگاه ملایر در دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ با استفاده از رابطه سرویس حفاظت خاک ایالات متحده مقادیر ارتفاع بارش به ارتفاع رواناب تبدیل شد سپس میزان دبی اوج سیل برای هر زیر حوضه محاسبه گردید.

یافته ها: فقر پوشش گیاهی دائمی و وجود علفی های یک ساله از دلایل پتانسیل بالای زیر حوضه ها در تولید رواناب است. در نتیجه متوسط شماره منحنی در روش های میانگین حسابی و وزنی به ترتیب ۷۹/۰۹ و ۸۱/۴۶ است که نشان از توانایی بالای حوضه در تولید رواناب است. تبدیل مقادیر شماره منحنی به ارتفاع و دبی اوج سیل با استفاده از روش شماره منحنی وزنی و میانگین حسابی و در نهایت مقایسه نتایج آن با رویکرد محاسبه ارتفاع رواناب وزنی برای هر شماره منحنی در واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه اختلاف معنی داری را نشان نداد و در نهایت نقشه های ارتفاع رواناب و دبی اوج سیل مربوط به هر زیر حوضه ترسیم شد. زیر حوضه شمالی حوضه با میانگین ارتفاع رواناب ۴۴/۳۲ میلی متر و دبی اوج ۱۶۸ مترمکعب در ثانیه بیشترین مشارکت را در گسیل سیل به سمت شهر ملایر داراست و زیر حوضه شماره ۴ در بخش جنوب شرقی حوضه کمترین مشارکت را در تولید سیل دارد. همچنین در ارتباط بین مساحت و ارتفاع رواناب، نتایج نشان داد در هر سه روش محاسبه شماره منحنی و ارتفاع رواناب لزوماً حوضه هایی که مساحت بیشتری دارد بیشترین مشارکت در وقوع سیل را نداشته و عوامل دیگری نیز در این نتایج نقش دارد که می توان گستردگی بیرون زدگی های سنگی و کاهش زمان تمرکز به دلیل شیب زیاد را از دلایل این مساله دانست. شکل گیری طولانی ترین آبراهه حوضه با ۱۶۳۱۴ متر طول در زیر حوضه شماره سه که پس از زیر حوضه شماره دو بیشترین دبی اوج سیل را داراست از نکات فنی مورد بحثی است که می تواند تخلیه سریع دبی اوجی حدود ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه را به عهده داشته باشد؛ اما بررسی شیب طولی حدود دو درصدی آن حاکی از خطر بالای سیل گرفتنی ناشی از عدم تخلیه در بارش های با دوره بازگشت بالا است که به نوبه خود خطری جدی برای تهدیدات ناشی از سیل در بخش جنوب شرقی شهر است. تلاقی بخش انتهایی آبراهه اصلی با خروجی سایر زیر حوضه ها و تجمع رواناب زیر حوضه های بالادست از مشکلات دیگری است که خطر آب گرفتگی مناطق پایین دست را افزایش می دهد.

نتیجه گیری: استفاده از روش شماره منحنی برای برآورد میزان رواناب تولید شده در حوضه های مشرف به سکونتگاه ها که عمدتاً فاقد ایستگاه هیدرومتری روش مناسبی است. حوزه آبخیز مشرف به شهر ملایر به دلیل وجود مراتع کم تراکم و کشاورزی دیم پتانسیل بالایی در تولید رواناب دارد به همین دلیل باید اقدامات اساسی آبخیزداری برای جلوگیری از ایجاد رواناب و سیل در مواقع بارندگی صورت گیرد.

واژه های کلیدی: بارش، رواناب، روش شماره منحنی، سیلاب شهری، شهر ملایر

مقدمه

افزایش جمعیت و مهاجرت از روستاها به شهرها به دلیل کاهش در مقدار بارش و عدم تاب آوری جوامع روستایی در برابر خشک سالی های ایجاد شده، از عمده ترین دلایل توسعه کالبدی شهرها به شمار می آید (Kumar and Dhorde, 2021). تأمین نیاز مسکن در این شرایط سبب تغییر کاربری اراضی بخصوص در حاشیه شهرها می شود که می تواند زمین های کشاورزی و اراضی جنگلی را کاهش دهد (Jahan et al., 2021). از طرف

دیگر اکثر مناطق حومه شهرها در ایران در شرایط بارش های با شدت زیاد و مدت کم سیلاب های ناگهانی را تجربه می کنند. این سیلاب ها تهدید جدی برای ساکنین در شهرها به حساب می آید (Bashirgonbad, 2022; Gholami et al., 2009; Rashidi and Hosseinzadeh, 2019). به همین دلیل برآورد پتانسیل تولید سیل در حوضه های مشرف به شهرها از اهمیت زیادی برخوردار است.

روش های مورد استفاده در ایران برای این منظور به دلیل در دسترس نبودن یا عدم وجود داده های هیدرومتری دارای

محدودیت‌هایی است. روش‌های مبتنی بر پارامترهای حوضه از پرکاربردترین روش‌های جایگزین برای استفاده در این نوع از حوضه‌ها است (Krisnayanti *et al.*, 2021). روش شماره منحنی^۱ با استفاده از پارامترهای کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، پوشش زمین و شرایط هیدرولوژیکی می‌تواند پتانسیل تولید سیل در هر یک از زیر حوضه‌ها را برآورد کند (USDA-SCS, 2004). این روش توسط سرویس حفاظت خاک ایالات متحده^۲ (SCS) و برای پیش‌بینی حجم رواناب مستقیم در رویدادهای بارش مشخص و عمدتاً برای ارزیابی رواناب در حوزه‌های آبخیز کشاورزی کوچک توسعه داده شده است (K. X. Soulis and Valiantzas, 2013) که به دلیل سادگی برای مطالعه رفتار بارش و رواناب توسط هیدرولوژیست‌ها و متخصصین زیادی مورداستفاده قرار گرفته است (Al-Juaidi, 2018; Jahan *et al.*, 2021; Mishra and Singh, 2006). علاوه بر این فراتر از توانایی مستقل این روش برای برآورد رواناب ناشی از وقایع بارش؛ به بخش جدایی‌ناپذیری از مدل‌های پیچیده‌تر تبدیل شده است (D L Prasanna *et al.*, 2023; Geetha *et al.*, 2008; Kheimi and Abdelaziz, 2022; Lian *et al.*, 2020; K. Soulis and Dercas, 2007; Tailor and Shrimali, 2016).

روش شماره منحنی در مناطق مختلف دنیا، شرایط آب‌وهوایی مختلف و در کاربری اراضی متفاوت استفاده شده و نتایج قابل قبولی ارائه کرده است. از جمله این تحقیقات می‌توان به مواردی در مناطق مختلف ایران اشاره کرد.

Heidari Chenari *et al.*, 2022 بر اساس ۳ واقعه بارش منفرد، مدل HEC-HMS را با استفاده از روش شماره منحنی در حوزه آبخیز تجن به کار گرفتند. آنالیز حساسیت مدل نشان داد پارامتر شماره منحنی و جذب آغازی بیشترین تأثیر را بر نتایج شبیه‌سازی دارد. در این تحقیق دبی اوج سیل و حجم جریان به‌عنوان شاخص‌های ارزیابی موردبررسی قرار گرفت. نتایج نهایی حاکی از دقت قابل قبول روش شماره منحنی در برآورد پارامترهای دبی اوج و حجم جریان با خطای ۰/۸ درصد است.

Belvasi *et al.*, 2020 در حوضه دوآب نقش تغییرات کاربری اراضی بر ویژگی‌های رواناب و سیل‌خیزی را با روش شماره منحنی و با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۹ بررسی کردند. داده‌های بارش و دبی سال ۲۰۱۸ برای هر دو کاربری اراضی یادشده در سال‌های مختلف به‌منظور محاسبه ارتفاع رواناب استفاده شد. نتایج بررسی نقشه‌های کاربری اراضی نشان داد سطح اراضی جنگلی و مراتع به ترتیب ۷۱/۵۶ و ۲۵/۲۸ کیلومتر مربع معادل ۳۹/۷ و ۶۸/۳ درصد کل مساحت حوضه کاهش و اراضی دیم، آب و مناطق مسکونی ۳۰/۵۸، ۸۸/۱۹ و ۷۸/۶ کیلومتر مربع معادل ۶۰/۷، ۵۹/۲ و ۸۹ درصد افزایش داشته است. همچنین، شماره منحنی به‌طور میانگین از ۶۴/۶۰ به ۸۰/۷۶ افزایش یافته است. در نتیجه این تغییرات، دبی اوج رواناب ۴۶/۱۵ و حجم رواناب ۷۴/۱۹ درصد افزایش داشته‌اند.

Abedini and lotfi, 2019 با استفاده از روش شماره منحنی در حوزه آبخیز شاهرود اردبیل پتانسیل سیل‌خیزی زیر حوضه‌های منطقه مورد را بررسی کردند. انگیزه اصلی این

مطالعه وجود سکونتگاه‌های انسانی در پایین‌دست است که اهمیت موضوع را دوچندان کرده است. در این مطالعه از روش شماره منحنی برای محاسبه ارتفاع رواناب در زیر حوضه‌ها استفاده شد. نکته قابل توجه در این تحقیق استفاده از طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف نقشه شماره منحنی بر اساس شکستگی‌های طبیعی در ۵ کلاس مختلف است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل، نواحی مرکزی، شمال غرب و جنوب و جنوب غرب حوضه در پهنه‌های با پتانسیل بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند و ۵/۱۳ درصد از مساحت حوضه دارای پتانسیل سیل‌خیزی بسیار زیاد و ۱۴/۶۲ درصد مساحت حوضه نیز دارای پتانسیل زیاد به جهت سیل‌خیزی است.

Azamirad *et al.*, 2018 در حوزه آبخیز کشف رود به‌منظور بررسی پتانسیل سیل‌خیزی زیر حوضه‌ها، از روش SCS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. روش شماره منحنی با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به‌صورت توزیعی و بر اساس شرایط رطوبتی حوضه مورداستفاده قرار گرفت. تحلیل رگرها در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ سال با استفاده از توزیع پیرسون تیپ ۳ در ۸۶ زیر حوضه از منطقه مورد مطالعه نشان داد ۲۵/۶۸ درصد مساحت منطقه دارای پتانسیل سیل‌خیزی نرمال، ۵/۲۵ درصد بحرانی و ۲۵/۶ درصد دارای پتانسیل سیل‌خیزی فوق بحرانی است.

Rawat and Singh, 2017 در مطالعه‌ای در حوضه الله‌آباد هندوستان که در منطقه خشک و نیمه‌خشک این کشور واقع شده از روش شماره منحنی و داده‌های مشاهده‌شده برداشتی از سطح منطقه، میزان رواناب تولیدی را برآورد کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین سالانه حجم رواناب ۱۴ ساله معادل ۳/۵۸ میلیون مترمکعب بوده که ناشی از میانگین بارندگی سالانه‌ای معادل ۱۱۰/۷۷ سانتی‌متر است. ضریب متوسط رواناب در این منطقه ۰/۳۲ بوده است.

Matomela *et al.*, 2019 از روش شماره منحنی، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های سنسجس از راه دور برای برآورد بارش و رواناب حوضه دریاچه‌ای در کشور چین استفاده کردند. آنها به‌منظور مدیریت حوزه آبخیز این دریاچه توزیع زمانی و مکانی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در محاسبات برآورد رواناب روزانه، ماهانه و سالانه دخالت دادند. ضریب همبستگی به‌عنوان معیار ارزیابی ارتباط بین بارش و رواناب در این تحقیق بود. نتایج این تحقیق ۱۷/۷۸ میلی‌متر رواناب را برای متوسط بارش‌های سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۰۱ نشان داد که این مقدار ۷/۱۸ درصد بارش متوسط سالانه در طی دوره آمار بود.

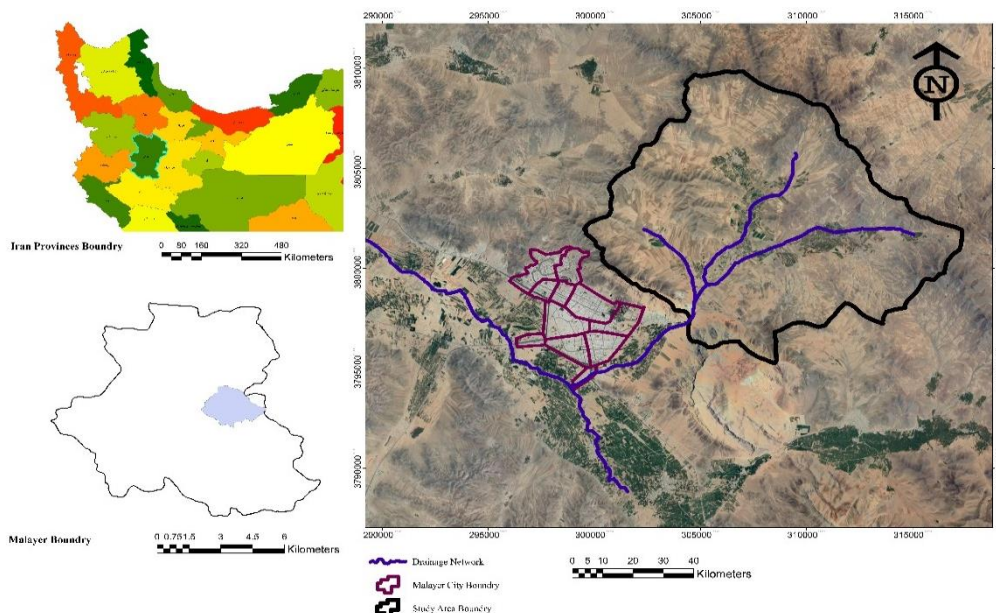
Qays Hashim and Naba Sayl, 2020 در مطالعه‌ای که در بیابان‌های غربی کشور عراق انجام گرفت از روش شماره منحنی و تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی برای برآورد رواناب در حوضه فاقد ایستگاه هیدرومتری استفاده کردند. برآورد رواناب ۱۲/۵ تا ۲۰/۳ میلی‌متری با حجم ۷/۳، ۱۲/۷ و ۹/۸ میلیون مترمکعب در سه منطقه هچلان، فهامی و زادان نتیجه حداکثر بارش در دوره آماری ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ بود.

تخمین دقیق‌تر ارتفاع و حجم رواناب از نکات برجسته این تحقیق است.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز مورد مطالعه با وسعت ۱۴۷۰۰ هکتار در محدوده عرض جغرافیایی "۳۸° ۱۷' ۳۸" تا "۳۴° ۲۳' ۴۸" شمالی و طول جغرافیایی "۴۸° ۵۰' ۵۰" تا "۴۸° ۵۸' ۲۷" شرقی واقع شده است. محدوده مورد مطالعه از شمال تا شمال شرقی شهر کشیده شده که در قسمت شرقی با دامنه‌های پرشیب و بیرون‌زدگی‌های سنگی از جنس شیست کوه‌های موسوم به کوه سرده احاطه شده که عکس‌العمل هیدرولوژیکی تندی در برابر رگبارهای بارشی دارد. شکل ۱ نشان‌دهنده منطقه مورد مطالعه در ایران و استان همدان است.

نتایج استفاده از روش شماره منحنی در اقلیم‌های مختلف و کاربری‌ها متفاوت در ایران و جهان نشان داد که می‌توان از آن به‌عنوان روشی مطمئن برای برآورد رواناب در حوضه‌های کوچک استفاده نمود. با توجه به اینکه در خروجی حوضه مشرف به شهر ملایر ایستگاه هیدرومتری وجود نداشته و حوضه بالادست شهر نیز در سال‌های اخیر به دلیل شرایط فیزیوگرافی، فقر پوشش گیاهی، گسترده‌سازی سازه‌های با برون‌زدگی سنگی و در نتیجه کوتاه بودن زمان تمرکز حوضه، شاهد رواناب‌هایی با شدت زیاد بوده است، وقوع سیلاب‌های مخرب از مسایل مهم در این منطقه است. هدف اصلی این تحقیق شناسایی زیر حوضه‌های با پتانسیل بالای تولید سیل باهدف جلوگیری از ایجاد خسارت مالی و جانی به ساکنین و تأسیسات شهری با استفاده از روش شماره منحنی می‌باشد. استفاده از رویکرد محاسبه ارتفاع رواناب وزنی هر زیرحوضه در مقایسه با روش‌های میانگین وزنی و میانگین حسابی شماره منحنی به منظور



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان همدان
Figure 1. Study area location in Hamedan province and Iran country

روش پژوهش

با استفاده از روش SCS با استفاده از رابطه (۱) انجام شد (USDA-SCS, 2004).

$$R = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن P برابر با ارتفاع بارندگی برحسب میلی‌متر است که با بررسی آمار بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک ملایر در دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ و استخراج مقادیر حداکثر روزانه، شدیدترین واقعه، مربوط به ۲۰۱۹/۰۴/۰۱ با مقدار ۸۸ میلی‌متر در روز و مقدار بارش ۵ روز قبل ۴۵/۲ میلی‌متری در دوره بازگشت ۳۰ سال به‌عنوان مبنای محاسبات قرار داده شد. در رابطه (۱) S مربوط به نگهداشت آب در سطح حوضه (برگاب، نفوذ در خاک و ذخیره سطحی) است. مقدار S در رابطه با نوع پوشش و نحوه بهره‌برداری از اراضی و وضعیت سطحی خاک

با توجه به اینکه مرز منطقه در مطالعات مربوط به برآورد رواناب از اهمیت بالایی برخوردار است با استفاده از سامانه گوگل ارث مرز محدوده مورد مطالعه با توجه به شبکه آبراه‌های و بال‌های منتهی به خروجی حوضه تعیین شد. در مرحله بعد با استفاده مدل رقومی ارتفاعی حوضه و بازدیدهای میدانی و به کمک الحاقیه Arc Hydro مرز زیر حوضه‌های مورد مطالعه و خصوصیات هیدرولوژیکی و فیزیوگرافیکی مربوط به آنها تعیین شد. بر این اساس منطقه مورد مطالعه به ۵ زیر حوضه تقسیم شد. سپس فرایندهای محاسبه ارتفاع رواناب، مقدار نگهداشت حوضه، مقدار شماره منحنی، محاسبه زمان تمرکز هر زیر حوضه و در نهایت نقشه‌های مربوط به هر مرحله در گام‌های مختلف این تحقیق، به ترتیب زیر صورت گرفت. محاسبه ارتفاع رواناب

از نظر نفوذپذیری و داخل خاک از نظر انتقال می‌باشد. بارندگی‌های متوالی مقدار S را کاهش داده و فرصتی به خاک برای زهکشی و تبخیر و تفرق نمی‌دهد. بنابراین، یک مقدار بیشینه و کمینه برای آن وجود دارد که وابسته به رطوبت قبلی خاک می‌باشد. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که از کل تلفات بالقوه حوضه S، به‌طور میانگین حدود ۰/۲ آن قبل از شروع جریان یافتن هرز آب به‌صورت تلفات اولیه عمل کرده و ۰/۸ آن در طول بارش، صرف نفوذ سطحی و عمقی در خاک می‌شود. بنابراین چنانچه ارتفاع بارندگی از ۰/۲ S کمتر باشد، فرض می‌شود که رواناب به وجود نخواهد آمد. مقدار تلفات کل یا S توسط رابطه‌ای با یک عامل بدون بعد به نام شماره منحنی ارتباط دارد که مقدار آن با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود که مقدار S در این رابطه برحسب میلی‌متر می‌باشد (USDA-SCS, 2004).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{رابطه (۲)}$$

مقدار شماره منحنی با مقدار نفوذ آب در سطح حوضه و سایر ویژگی‌های حوضه متناسب می‌باشد. مقدار شماره منحنی بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. در شماره منحنی برابر صفر هیچ‌گونه روانابی از بارندگی حاصل نیامده و در شماره منحنی برابر ۱۰۰ تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر ارتفاع بارندگی خواهد بود. شماره منحنی به نوبه خود از روی مشخصات خاک، نوع بهره‌برداری از زمین و شرایط رطوبت قبلی خاک تعیین می‌گردد. پس از تعیین شماره منحنی، مقدار نگهداشت مشخص شده و با در نظر گرفتن بارندگی، ارتفاع رواناب محاسبه می‌شود (Barker and Chandrakantha, 2022).

خاک‌ها بر اساس میزان بارش، رواناب و داده‌های نفوذسنج به گروه‌های هیدرولوژیکی تقسیم شده‌اند (Musgrave G.W., 1955). بر این اساس خاک‌ها به چهار گروه هیدرولوژیکی A, B, C و D تقسیم می‌شوند. برای جزییات بیشتر به منبع (National Engineering Handbook Chapter 7 Hydrologic Soil Groups, 2009) رجوع شود.

پارامتر تعیین‌کننده دیگر برای تعیین مقدار شماره منحنی وضعیت بهره‌برداری از زمین است که بر اساس کاربری اراضی، عملیات اصلاحی انجام‌شده و وضعیت هیدرولوژیکی اراضی تعیین می‌شود (USDA-NRCS, 2002). در این مطالعه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ و در محدوده زمانی سال ۲۰۲۰ تولید شد. این ماهواره ماهواره با ۱۳ باند طیفی و توان تفکیک مکانی بین ۱۰ تا ۶۰ متر نخستین ماهواره اپتیکی است که دارای توان تفکیک مکانی ۱۰ متری است و داده‌های آن بصورت رایگان در اختیار کاربران قرار گرفته است. یکی دیگر از عوامل مهم در کاهش شدت نفوذ و در نتیجه افزایش رواناب، رطوبت قبلی خاک می‌باشد. 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 بررسی شده و سه حالت مختلف در نظر گرفته می‌شود. فصل رشد و یا خواب گیاه نیز به دلیل تأثیری که عمل تفرق بر رطوبت خاک دارد، باید در محاسبات لحاظ گردد. شرایط رطوبت پیشین خاک را می‌توان از جدول (۱) و بر اساس مجموع بارندگی طی مدت ۵ روز قبل از روز مورد نظر به دست آورد. پس از مشخص شدن گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، وضعیت بهره‌برداری (جدول ۲) و شرایط هیدرولوژیکی، با استفاده از جدول مربوطه شماره منحنی برای شرایط رطوبت پیشین متوسط به دست می‌آید. چنانچه شرایط رطوبت پیشین خاک حالت متوسط نباشد، یعنی خاک خشک باشد یا بارندگی در زمانی صورت گیرد که قبل از آن باران دیگری باریده باشد و خاک مرطوب باشد، شماره منحنی به دست آمده برای دو وضعیت خشک و مرطوب تصحیح می‌گردد. برای بررسی جزئیات مربوط به تعیین شرایط رطوبت پیشین به منبع (Silveira et al., 2000) مراجعه شود. در این تحقیق با توجه به مقدار بارندگی ۵ روز قبل (۴۵/۲ میلی‌متر) و قرارگیری حوضه در شرایط رطوبت پیشین مرطوب، مقدار شماره منحنی برای حالت مرطوب تصحیح شد.

جدول ۱- وضعیت رطوبت پیشین خاک (USDA-SCS, 2004)

Table 1. Soil Antecedent Moisture Condition		Soil Moisture Group
Other stage	Five-day antecedent rainfall (mm) مقدار بارش ۵ روز قبل (میلی‌متر)	گروه رطوبتی خاک
فصل خواب	Plant growth stage فصل رشد	
<15	<30	AMC I (Dry) خشک
15-30	30-50	AMC II (Moderate) متوسط
>30	>50	AMC III (Wet) مرطوب

Table 2. Types of land uses and the area of each land use in the study area

Percentage area درصد مساحت	Area (hectare) مساحت (هکتار)	Land use type نوع کاربری
24.95	3665.11	Low density pasture مرتع کم تراکم
7.41	1088.33	Semi-dense pasture مرتع نیمه متراکم
7.06	1037.40	Dense pasture مرتع متراکم
46.86	6882.71	Dry farming زراعت دیم
13.40	1968.79	Aquaculture and gardens زراعت آبی و باغات
0.32	46.35	Residential areas مناطق مسکونی

که در آن T_P زمان رسیدن به دبی اوج (ساعت)، R عمق رواناب (میلی‌متر)، A مساحت حوضه یا زیر حوضه (کیلومتر مربع) و Q_P دبی اوج سیل (مترمکعب بر ثانیه) است. بر اساس این روش اگر بارانی با تداوم T روی حوضه‌ای که زمان تمرکز آن T_C (ساعت) است رخ دهد، پس از T_P ساعت دبی به حداکثر خود می‌رسد و T_P از رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$T_P = 0.6T_C + \sqrt{T_C} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه (۶) ابتدا زمان تمرکز محاسبه شد. که مقدار زمان تمرکز بستگی به طول آبراهه اصلی، شیب آن و شرایط هیدرولیکی مسیر جریان، مانند ضریب زبری و شعاع هیدرولیکی دارد. رابطه‌های زیادی برای محاسبه زمان تمرکز ارائه شده که بیشتر آن‌ها بر اساس دو عامل طول آبراهه اصلی و شیب می‌باشند. روش کریپچ (Kirpich, 1940) یکی از این روش‌ها می‌باشد که به صورت رابطه (۷) بیان می‌شود.

$$T_C = 0.019L^{0.77} S^{0.385} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن، L طول بزرگ‌ترین مسیر آب در حوضه به متر، S شیب مسیر آب به متر بر متر می‌باشد.

نتایج و بحث

این پژوهش بر اساس روش SCS و به منظور تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه مشرف به شهر ملایر انجام شد. در روش SCS عواملی نظیر ارتفاع بارش، زمان تمرکز، مساحت حوضه، میزان نفوذپذیری، کاربری اراضی و ضریب تولید رواناب به کارگیری شده تا حجم و دبی اوج هر یک از زیر حوضه‌ها را برآورد نماید. مطابق شکل ۲-الف با استفاده از بازدهی میدانی و مدل رقومی ارتفاعی بادقت ۳۰ متر ۵ زیر حوضه در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. تلفیق نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه (شکل ۲-ب)، کاربری اراضی (شکل ۲-ج) و زیر حوضه‌ها در نهایت نقشه شماره منحنی هر زیر حوضه (شکل ۲-د) را تولید کرد.

محاسبه مقادیر شماره منحنی منجر به تولید مقدار نگهداشت گردید که شکل ۲-د نشان‌دهنده توزیع آن در کل حوضه است. محاسبه مقدار نگهداشت پیش‌نیاز محاسبه ارتفاع رواناب به روش SCS است که با استفاده از رابطه (۱) مقدار رواناب در حالت شماره منحنی متوسط سه روش یادشده منجر به تولید نقشه پهنه ارتفاع رواناب در منطقه مورد مطالعه شد (شکل ۲-و). محاسبه زمان تمرکز زیر حوضه‌ها به منظور محاسبه دبی حداکثر لحظه‌ای ضروری است که با استفاده از

نقطه قوت این تحقیق در محاسبه رواناب برای زیر حوضه‌هایی است که شامل بیش از یک مقدار شماره منحنی هستند، سه رویکرد برای محاسبه رواناب کل مورد بررسی قرار گرفت.

– رویکرد میانگین حسابی شماره منحنی: در این روش شماره منحنی هر واحد هیدرولوژیکی محاسبه شده و بدون در نظر گرفتن مساحت هر واحد، میانگین حسابی شماره منحنی هر زیر حوضه محاسبه می‌شود.

– رویکرد میانگین وزنی شماره منحنی: شماره منحنی وزنی با در نظر گرفتن مجموع هر مقدار شماره منحنی ضرب در کسر آن از کل مساحت زیر حوضه و مطابق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$CN_{aw} = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i * A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن CN_{aw} شماره منحنی وزنی برای حوضه یا زیر حوضه مورد نظر، CN_i شماره منحنی برای هر چندضلعی شامل کاربری و گروه هیدرولوژیکی خاک، A_i مساحت هر چند ضلعی شامل کاربری و گروه هیدرولوژیکی و n تعداد چندضلعی‌های هر زیر حوضه در کاربری خاص با گروه هیدرولوژیکی مخصوص به خود است.

– رویکرد میانگین وزنی رواناب: رواناب به‌طور جداگانه برای هر مقدار CN محاسبه می‌شود و حجم‌ها برای تعیین رواناب کلی ترکیب می‌شوند. این رویکرد حجم رواناب کامل را از سطوح نفوذپذیر حفظ می‌کند، به‌ویژه هنگام مدل‌سازی رویدادهای کم بارش؛ رابطه شماره (۴) نحوه محاسبه این رویکرد را تشریح می‌کند.

$$R_{aw} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{CNI} * A_{CNI})}{\sum_{i=1}^n A_{CNI}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن R_{aw} ارتفاعات رواناب وزنی برای حوضه یا زیر حوضه، R_{CNI} ارتفاع رواناب برای هر CN ، A_{CNI} مساحت هر چندضلعی شامل شماره منحنی مورد نظر و n تعداد چندضلعی‌های مربوط به هر شماره منحنی در زیر حوضه یا حوضه است. پس از تعیین ارتفاع رواناب با هر یک از رویکردهای فوق با استفاده از رابطه (۵) که توسط SCS پیشنهاد شده است می‌توان دبی حداکثر هر زیر حوضه را محاسبه نمود (USDA-SCS, 2004).

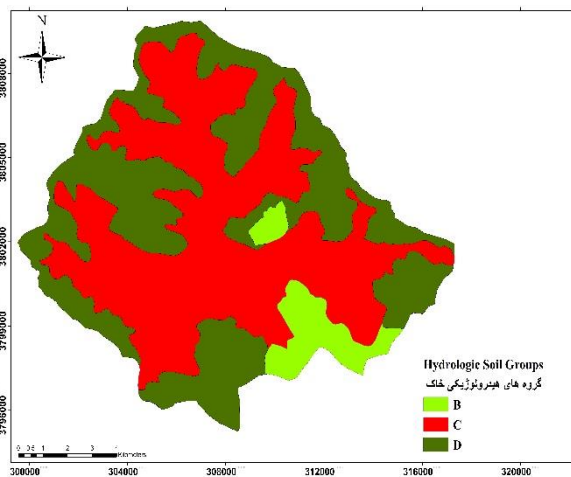
$$Q_P = \frac{0.208AR}{T_P} \quad \text{رابطه (۵)}$$

حوضه به دلیل گستردگی بیرون‌زدگی‌های سنگی و کاهش زمان تمرکز به دلیل شیب زیاد را از دلایل این مساله دانست که با نتایج اعظمی راد و همکاران (۲۰۱۸) (Azamirad et al., 2018) و رشیدی و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد (Rashidi and Hosseinzadeh, 2019).

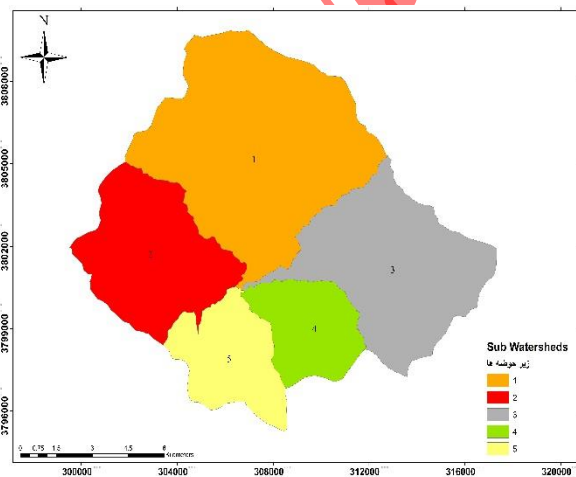
بررسی نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در منطقه نشان داد که ۵۲/۵۴ درصد از مساحت حوضه (۷۷۲۳/۳ هکتار) مربوط به خاک‌های با گروه هیدرولوژیکی C، ۴۲/۲ درصد (۱۳۹۲۶/۷ هکتار) مربوط به گروه هیدرولوژیکی D و تنها ۵/۲۶ درصد آن مربوط به گروه هیدرولوژیکی B است. بخش‌های عمده‌ای از مساحت منطقه از نوع خاک‌هایی است که دارای بافت متوسط تا سنگین و گاهی بیرون‌زدگی سنگی است و لذا نفوذپذیری کمی دارند و به تبع آن پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارند.

روش کریپج محاسبه شده است. همچنین نتایج مربوط به پارامترهای دخیل زیر حوضه‌ها در محاسبه رواناب به سه روش شماره منحنی با میانگین حسابی، شماره منحنی وزنی و ارتفاع رواناب وزنی در جدول ۳ آمده است. نتایج این تحقیق نشان داد زیر حوضه شماره یک با بیشترین مساحت (۵۶/۰۵ کیلومترمربع) در روش شماره منحنی وزنی و رواناب وزنی بیشترین مقدار رواناب را تولید می‌کند در حالیکه در روش میانگین حسابی شماره منحنی، بعد از زیر حوضه شماره ۲ با مساحت ۲۶/۶ در جایگاه دوم قرار دارد.

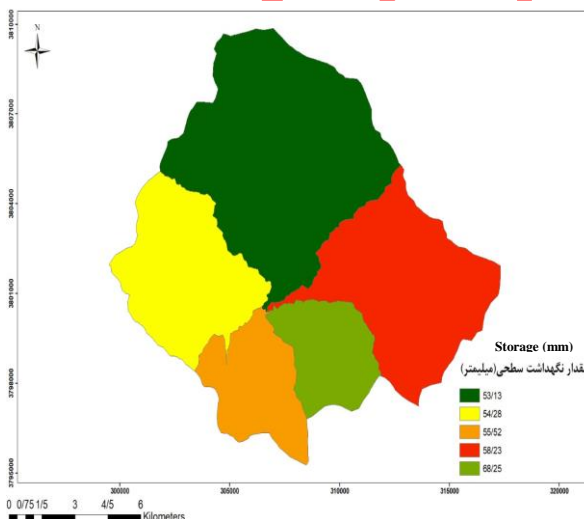
با بررسی بیشتر در ارتباط بین مساحت و ارتفاع رواناب، نتایج نشان داد در هر سه روش محاسبه شماره منحنی و ارتفاع رواناب لزوماً حوضه‌های که مساحت بیشتری دارد بیشترین مشارکت در وقوع سیل را نداشته و عوامل دیگری نیز در این نتایج نقش دارد که می‌توان فقر پوشش گیاهی در این زیر



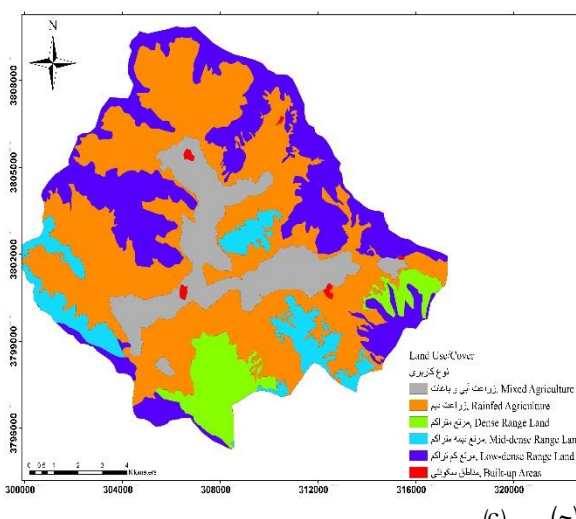
(ب) (ب)



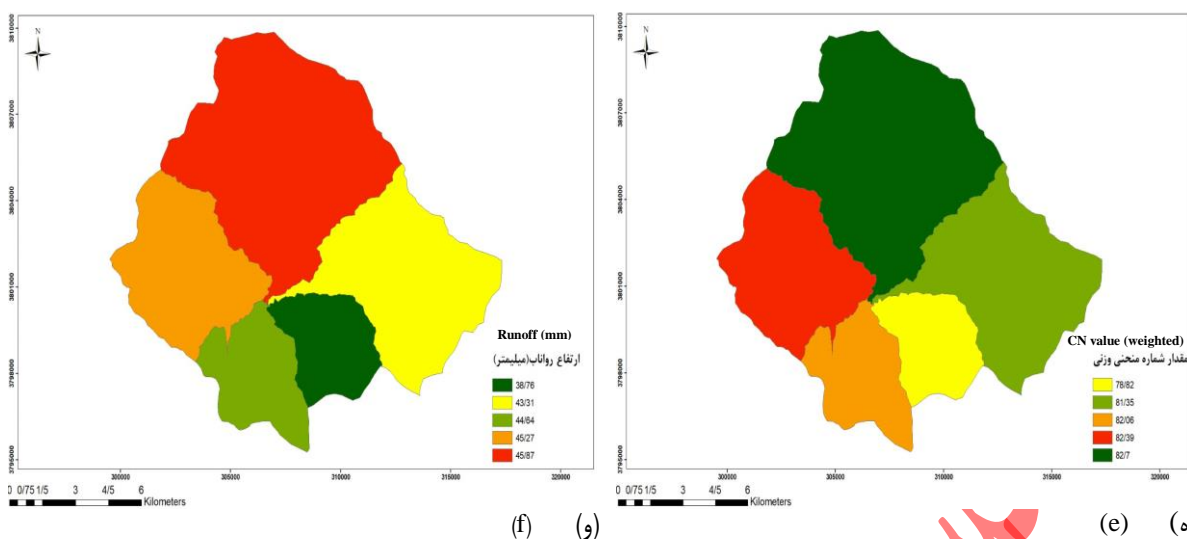
(الف) (ا)



(د) (د)



(ج) (ج)



شکل ۲- نتایج مربوط به نقشه‌های تقسیم‌بندی زیر حوضه‌ها (الف)، گروه‌های هیدرولوژیکی (ب)، کاربری اراضی (د)، میزان نگهداشت سطحی یا ذخیره حوضه (ه)، مقدار شماره منحنی (و) و مقادیر ارتفاع رواناب (ز) در زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه
 Figure 1. Results for divided sub-basin (a), hydrological groups (b), land use map (c), sub-basin storage values (d), curve number values map (e) and run off height map (f) in studied area

جدول ۳- نتایج مربوط به پارامترهای دخیل زیر حوضه‌ها در محاسبه رواناب
 Table 3. The results related to parameters of the sub-basins in runoff estimation

T_p (h)	T_c (h)	R (Weighted)	R (CN-Weighted)	R (CN-Arithmetic)	CN (Weighted)	CN (Arithmetic)	Area (km ²)	Attributes
زمان تا اوج (ساعت)	زمان تمرکز (ساعت)	میانگین وزنی ارتفاع رواناب (میلی‌متر)	ارتفاع رواناب (میلی‌متر)	ارتفاع منحنی (میلی‌متر)	میانگین وزنی شماره منحنی	حسابی شماره منحنی	مساحت (کیلومتر مربع)	Sub-basin زیر حوضه
2.56	1.94	46.41	45.88	40.67	82.7	79.9	56.0	1
1.87	1.25	45.68	45.32	45.35	82.41	82.43	26.6	2
2.09	1.47	40.20	41.69	39.07	80.46	79	35.29	3
1.62	1.01	34.88	34.37	30.03	76.21	37.45	13.44	4
1.28	0.72	42.17	41.81	42.06	80.53	80.67	15.4	5

به ترتیب ۷۹/۰۹ و ۸۰/۴۶ است که نشان از توانایی بالای حوضه در تولید رواناب دارد.

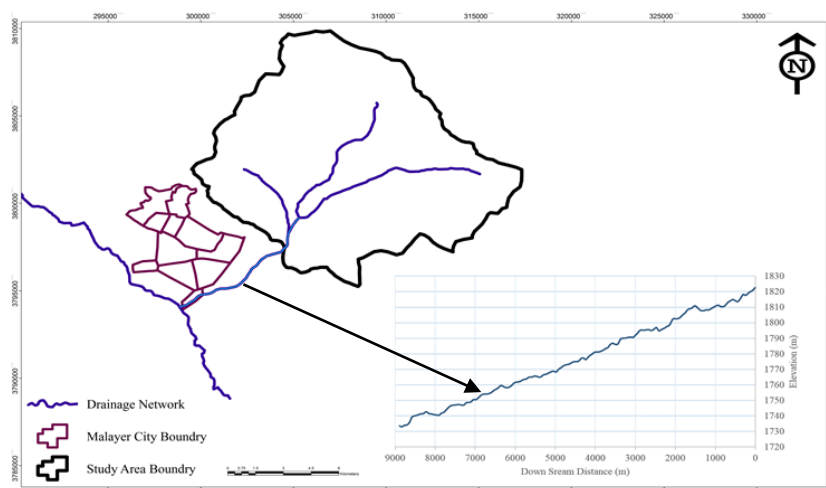
شکل‌گیری طولانی‌ترین آبراهه حوضه با ۱۶۳۱۴ متر طول در زیر حوضه شماره سه که پس از زیر حوضه شماره دو بیشترین دبی اوج سیل را داراست از نکات فنی موردبجی است که می‌تواند تخلیه سریع دبی اوجی حدود ۱۰۰ مترمکعب در ثانیه را به عهده داشته باشد؛ اما بررسی شیب طولی حدود دو درصدی آن حاکی از خطر بالای سیل‌گرفتن ناشی از عدم تخلیه در بارش‌های با دوره بازگشت بالا است.

تلاقی بخش انتهایی آبراهه اصلی با خروجی سایر زیر حوضه‌ها و تجمع رواناب زیر حوضه‌های بالادست از مشکلات دیگری است که خطر آب‌گرفتنی مناطق پایین‌دست را افزایش می‌دهد.

مطابق شکل ۳ مسیل از ناو به‌عنوان کانال تخلیه رواناب حوضه که در منتهی‌الیه جنوب و جنوب شرقی شهر ملایر واقع شده است در مواقع سیلابی از طریق خیابان‌های مشرف به کمربندی، تهدید جدی برای شهر بی‌شمارمی‌آید.

بررسی پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه نشان داد؛ زراعت دیم با سطح ۴۶/۸۵ درصد، مراتع کم تراکم ۲۴/۹۵ درصد، اراضی باغی ۱۳/۴ درصد و مجموع مراتع نیمه متراکم و متراکم با ۱۴/۴۶ درصد و مناطق مسکونی ۰/۳ درصد منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است که بخش عمده‌ای از مساحت منطقه مورد مطالعه مربوط به اراضی دیم و مراتع کم تراکم است که در بیشتر موارد به دلیل کم بازده شدن و یا فقر پوشش گیاهی دائمی مستعد تولید رواناب زیادی هستند.

نقشه شماره منحنی که نشان‌دهنده قابلیت تولید رواناب در هر واحد هیدرولوژیکی است از طریق برهم‌گذاری نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و کاربری اراضی در روش SCS تولید شد. وجود گروه‌های هیدرولوژیکی با قابلیت زیاد تولید رواناب در بخش‌های عمده‌ای از منطقه و همچنین وجود اراضی دیم و مراتع کم تراکم در منطقه سبب شد حدود ۶۰ درصد اراضی منطقه شماره منحنی بیشتر از ۸۰ داشته باشند، همچنین متوسط شماره منحنی به روش میانگین حسابی و میانگین وزنی



شکل ۳- موقعیت مسیل از ناو که محل تخلیه رواناب خروجی حوضه مشرف به شهر است.
 Figure 3. The location of the Eznaw waterway, which is the discharge point of the outflow of the Watershed, overlooking the Malayer city

نتیجه گیری

اقدامات اصلاحی می تواند شرایط را برای گسترش پوشش گیاهی و کاهش رواناب حوضه مساعدتر کند.

دبی های اوج زیرحوضه های شماره ۳، ۲، ۵ و ۴ به ترتیب ۱۰۰، ۷۹، ۴۵ و ۳۴ مترمکعب بر ثانیه محاسبه گردید که با احتساب زیر حوضه شماره یک در مجموع با ۴۲۶ مترمکعب بر ثانیه دبی اوج قابل توجهی را به وجود خواهد آورد به همین دلیل انجام فعالیت های آبخیزداری در این زیر حوضه ها ضروری است.

مسیل از ناو به عنوان خروجی حوضه مشرف به شهر، شیب کمی داشته و در برخی نقاط این شیب به دلیل تخلیه نخاله های ساختمانی منفی شده است. در نتیجه به طور مرتب این رودخانه نیازمند لایروبی است و باید از تخلیه زباله ساختمانی در آن جلوگیری شود.

در این تحقیق جهت برآورد رواناب و سیلاب حوضه های مشرف به شهر ملایر از مدل تجربی شماره منحنی استفاده شد که نتایج و مؤلفه های آن پس از بهینه سازی و صحت یابی در مقایسه با پژوهش های دیگر از دقت زیادی برخوردار بوده است از این نظر نتایج کلی به دست آمده از فرایندهای برآورد رواناب در چارچوب اهداف این تحقیق نشان داد زیرحوضه شماره یک که شمالی ترین زیرحوضه منطقه مورد مطالعه است حداکثر دبی لحظه ای (۱۶۸ مترمکعب بر ثانیه) را دارد. بیشترین سطح این زیرحوضه، مراتع کم تراکم و کشاورزی دیم می باشد و سهم مراتع کم تراکم به دلیل نفوذ کم در ایجاد رواناب زیاد است، به همین دلیل باید اقدامات اساسی برای جلوگیری از ایجاد رواناب و سیل در مواقع بارندگی صورت گیرد. از جمله اقدامات اساسی در راستای افزایش نفوذ آب، استقرار سیستم جمع آوری آب باران و عملیات کنتورفارو همراه با افزایش پوشش گیاهی از طریق بذرپاشی و بوته کاری گیاهان مرتعی ضروری است. اجرای این

منابع

- Abedini, M., & lotfi, khodadad. (2019). Estimating runoff for analysis of potential flooding Using the Curve Number(CN) method in the Shahrod Basin of Ardabil. *Geospace*, 19(68), 163–181. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2910-en.html> (In Persian).
- Al-Juaidi, A. E. M. (2018). A simplified GIS-based SCS-CN method for the assessment of land-use change on runoff. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(11). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3621-4>
- Azamirad, M., ghahreman, B. & Esmaili, K. (2018). Investigation Flooding Potential in The Kashafrud watershed, Mashhad The Method SCS and GIS. *Journal of Watershed Management Research*, 9(17), 26–38. <https://doi.org/10.29252/jwmr.9.17.26> (In Persian).
- Barker, R. D., & Chandrakantha, G. (2022). Estimation of Runoff Potential using Curve Number Method. *Indian Journal of Ecology*, 49, 1843–1847. <https://doi.org/10.55362/ije/2022/3745>
- Bashirgonbad, M. (2022). Rainfall-Runoff Modeling to Predict Maximum Daily Flow under Climate Change Conditions. *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 115–124. <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-1184-en.html> (In Persian).

- Belvasi, I. A., Asghari Saraskanrod, S., Esfandiari Dorabad, F. & Zeinali, B. (2020). The Role of Land Use Changes on Run-off and Flood Properties in the Doab Catchment. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 7(2), 331–344. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.295346.1263>
- DL Prasanna, S. V. S. N., Sandeep Reddy, K., Chandrasekhar, Sai Shivani, S. & Divya, E. (2023). Prediction and Comparison of Rainfall-Runoff Using Mathematical Model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1130(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1130/1/012044>
- Geetha, K., Mishra, S. K., Eldho, T. I., Rastogi, A. K. & Pandey, R. P. (2008). SCS-CN-based continuous simulation model for hydrologic forecasting. *Water Resources Management*, 22(2), 165–190. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9149-5>
- Gholami, V., Jokar, E., Azodi, M., Zabardast, H. A. & Bashirgonbad, M. (2009). The influence of anthropogenic activities on intensifying runoff generation and flood hazard in Kasilian watershed. *In Journal of Applied Sciences* (Vol. 9, Issue 20, pp. 3723–3730). <https://doi.org/10.3923/jas.2009.3723.3730>
- Heidari Chenari, F., Fazloulou, R. & Nikzad Tehrani, E. (2022). Calibration and Evaluation of HEC-HMS Hydrological Model Parameters in Simulation of Single Rainfall-Runoff Events (Case Study: Tajan Watershed) . *Journal of Watershed Management Research*, 13(26), 69–81. <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-1161-en.html> (In Persian).
- Jahan, K., Pradhanang, S. M. & Bhuiyan, M. A. E. (2021). Surface runoff responses to suburban growth: An integration of remote sensing, gis, and curve number. *Land*, 10(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/land10050452>
- Kheimi, M. & Abdelaziz, S. M. (2022). A Daily Water Balance Model Based on the Distribution Function Unifying Probability Distributed Model and the SCS Curve Number Method. *Water (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020143>
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(6), 362.
- Krisnayanti, D. S., Bunganaen, W., Frans, J. H., Seran, Y. A. & Legono, D. (2021). Curve number estimation for ungauged watershed in semiarid region. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 7(6), 1070–1083. <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091711>
- Kumar, K. & Dhorde, A. (2021). Impact of Land use Land cover change on Storm Runoff Generation: A case study of suburban catchments of Pune, Maharashtra, India. *Environment, Development and Sustainability*, 23(3), 4559–4572. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00787-x>
- Lian, H., Yen, H., Huang, J.-C., Feng, Q., Qin, L., Bashir, M. A., Wu, S., Zhu, A.-X., Luo, J., Di, H., Lei, Q. & Liu, H. (2020). CN-China: Revised runoff curve number by using rainfall-runoff events data in China. *Water Research*, 177, 115767. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115767>
- Matomela, N., Tianxin, L., Morahanye, L., Bishoge, O. K. & Ikhumhen, H. O. (2019). Rainfall-runoff estimation of Bojiang lake watershed using SCS-CN model coupled with GIS for watershed management. *Journal of Applied and Advanced Research*, 4(1), 16–24. <https://doi.org/10.21839/jaar.2019.v4i1.263>
- Mishra, S. K. & Singh, V. P. (2006). A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria. *Hydrological Processes*, 20(13), 2755–2768. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hyp.6066>
- Musgrave G.W., G. W. A.-M. (1955). How Much of the Rain Enters the Soil? 151-160.-USDA. <https://handle.nal.usda.gov/10113/IND43894552>
- National Engineering Handbook Chapter 7 Hydrologic Soil Groups. (2009).
- Qays Hashim, H. & Naba Sayl, K. (2020). Incorporating GIS Technique and SCS-CN approach for runoff estimation in the ungauged watershed: A case study west desert of Iraq. *Iraqi Journal of Civil Engineering*, i, 14–16. <https://www.iasj.net/iasj?func=issues&jId=141&uiLanguage=en>
- Rashidi, M. & Hosseinzadeh, M. M. (2019). The Role of Sub-basins Overlooking the City in the Occurrence of Urban Floods in Izeh (Khuzestan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(1), 25–42. <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.78855>
- Rawat, K. S. & Singh, S. K. (2017). Estimation of Surface Runoff from Semi-arid Ungauged Agricultural Watershed Using SCS-CN Method and Earth Observation Data Sets. *Water Conservation Science and Engineering*, 1(4), 233–247. <https://doi.org/10.1007/s41101-017-0016-4>
- Silveira, L., Charbonnier, F. & Genta, J. L. (2000). L'humidité antérieure des sols dans la méthode "curve number." *Hydrological Sciences Journal*, 45(1), 3–12. <https://doi.org/10.1080/02626660009492302>
- Soulis, K. & Dercas, N. (2007). Development of a GIS-based Spatially Distributed Continuous Hydrological Model and its First Application. *Water International*, 32(1), 177–192. <https://doi.org/10.1080/02508060708691974>

- Soulis, K. X. & Valiantzas, J. D. (2013). Identification of the SCS-CN Parameter Spatial Distribution Using Rainfall-Runoff Data in Heterogeneous Watersheds. *Water Resources Management*, 27(6), 1737–1749. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0082-5>
- Taylor, D. & Shrimali, N. J. (2016). Surface runoff estimation by SCS curve number method using gis for Rupen-Khan watershed , Mehsana district , Gujarat soil. *J. Indian Water Resour. Soc.*, 36(4), 2–6.
- USDA-NRCS. (2002). National Engineering Handbook Chapter 8: Land Use and Treatment. Part 630 Hydrology National Engineering Handbook, June, 5. <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch8.pdf>
- USDA-SCS. (2004). Part 630 Hydrology_Estimation_DirectRunoff_StormRainfall_2004_July.pdf (p. 79).

“Research Paper”

Estimating of runoff height to analyze flood production potential of the watershed overlooking Malayer city

Malayeri Soheila¹ and Bashirgonbad Mohammad²

1- M.Sc. in urban watershed management, Faculty of Natural resources, Malayer University, Malayer, Iran
2- Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University, Malayer, Iran (Corresponding author: mbgonbad@ut.ac.ir)

Received: 23 January, 2023 Accepted: 10 December, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Depending on rainfall systems, as well as local conditions influenced by unprincipled human activities, floods cause a lot of damage to natural resources, settlements, and projects every year. Often hydrometric stations are destroyed during floods or small watersheds lack hydrometric stations, which means that the estimation of runoff and maximum flood discharges requires a suitable method to calculate runoff and flood values in these basins. Prevention of these damages is doubly important when the study area overlooks places with a high density of settlements and urban facilities that can threaten the lives of many residents. An estimate of the amount of runoff in each of the sub-basins of the watershed overlooking Malayer was undertaken in this study.

Material and Methods: The watershed overlooking the city of Malayer with an area of 14,700 hectares is stretched from the north to the northeast of the city. The processing of digital elevation models identified five sub-basins overlooking the city and field visits. The Curve number method was used to estimate runoff height and flood volume in each sub-basin. The most intense rainfall event was 88 mm per day with a return period of 30 years as design rainfall and the amount of previous rainfall in the 5 days before this event with a cumulative value of 45.2 mm was considered. In order to calculate the physical parameters of the watershed in this study, topography, geology, vegetation, soil, and land use maps were digitized using a geographic information system. By using Sentinel-2 images, which has 13 spectral bands and a spatial resolution of 10 meters, simultaneous maps of land use and rainfall were provided. Utilizing the SCS method, the layers of land use, vegetation, and soil hydrological groups were combined to produce a curve number map. We corrected the value of the curve number for the wet condition based on the rainfall 5 days before and the location of the basin in the previous wet conditions. A weighted curve number approach for each sub-basin was compared with another approach based on the arithmetic mean of the curve number for each sub-basin, as well as a weighted runoff height approach for each curve number. Kirpich's method was used to calculate the concentration time of each sub-basin. In the next step, using the maximum daily rainfall data from the Malayer synoptic station in the statistical period from 1991 to 2021, the rainfall height values were converted to runoff height using the SCS relationship, and then the peak flood discharge was calculated for each sub-basin.

Results: The lack of permanent vegetation and the presence of annual grasses are among the reasons for the high potential of the sub-basins in the production of runoff. As a result, the average curve number of arithmetic and weighted average methods is 79.09 and 81.46, respectively, which shows the high capacity of the basin in producing runoff. Converting curve number values to peak flood height and flow using two commonly used methods of curve number calculation and comparing it with the results of the weighted runoff height calculation approach for each curve number in the working units of the study area did not show any significant difference. Finally, the maps of the height of the runoff and the peak discharge of each sub-basin were drawn. The northern sub-basin of the basin with an average runoff height of 44.32 millimetres and a peak

discharge of 168 cubic meters per second has the highest participation in flood discharge towards the city of Malayer, and sub-basin No. 4 in the southeastern part of the basin has the least participation in flood generation. In addition, in the relationship between the area and the height of the runoff, the results showed that in all three methods of calculating the curve number and the height of the runoff, the basins with a larger area do not necessarily contribute the most to the occurrence of floods. Other factors also play a role in these results, such as the extent of rocky outcrops and reduction time of concentration due to the high slope as one of the reasons for this problem. The formation of the longest watercourse in the basin with a length of 16314 meters under sub-basin number three, which has the highest peak flood flow after sub-basin number two, is one of the discussed technical points that can handle the rapid discharge of the peak flow of about 100 cubic meters per second. However, the study of its longitudinal slope of about two percent indicates the high risk of flooding caused by the lack of evacuation in rains with a high return period, which in turn is a serious risk for the threats caused by floods in the southeastern part of the city. The intersection of the end part of the main waterway with the exit of other sub-basins and the collection of runoff under the upstream basins are other problems that increase the risk of flooding in the downstream areas.

Conclusion: It is suitable to use the curve number method to estimate the amount of runoff produced in the basins overlooking the settlements, which do not usually have hydrometric stations. Because of its low-density pastures and rain-fed agriculture, the watershed overlooking Malayer has a high potential for runoff production.

Keywords: Curve number method, Malayer city, Rainfall, Runoff, Urban floods

پیش از انتشار