

## برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی و ابزار Arc- CN Runoff در حوضه آبخیز افجه

محمد مهدی حسین زاده<sup>۱</sup>، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.  
سپیده ایمنی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

پذیرش نهایی ۱۳۹۷/۰۳/۲۴

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۲

### چکیده

رواناب و سیلاب یکی از مهمترین و پرحداده‌ترین مخاطرات طبیعی ایران می‌باشند که در سال‌های اخیر تکرار و شدت وقوع آن بیشتر شده است. رواناب‌هایی که تبدیل به سیلاب می‌شوند بالاترین نرخ تلفات جانی را به همراه دارند و به لحاظ وسعت بعد از خشکسالی دومین بلای طبیعی محسوب می‌شوند. به همین منظور برآورد پتانسیل تولید رواناب و پیش‌بینی رواناب و سیلاب در یک حوضه، جهت برنامه‌ریزی در حفاظت خاک و فرسایش و نیز مدیریت حوضه‌های آبخیز از لحاظ تولید رواناب بسیار حائز اهمیت است. استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS و سنجش از دور، در تسهیل تخمین رواناب حوضه آبخیز در قرن اخیر رواج یافته است. این عمل با استفاده از مدل بارش رواناب که شامل تغیرات اقلیمی و ژئومورفولوژیکی است انجام می‌گیرد. به منظور برآورد ارتفاع رواناب در حوضه آبخیز افجه، به نقشه‌های گروه هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی و بارندگی ۲۴ ساعته در فصل‌های مختلف نیاز است. نقشه شماره منحنی رواناب براساس تلفیق نقشه‌های گروه هیدرولوژیکی خاک و کاربری اراضی با استفاده از ابزار Arc- CN Runoff در محیط نرم افزار GIS تهیه شد. هدف از این مطالعه برآورد ارتفاع رواناب از ابزار Arc- CN Runoff در حوضه افجه و پنهان‌بندی پتانسیل تولید رواناب در حوضه آبخیز است. به همین منظور مقادیر بارندگی در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان انتخاب شدند. نتایج تحقیق نشان داد که نوع کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک در عکس العمل هیدرولوژیکی حوضه آبخیز افجه مؤثر بوده است. این نکته بیانگر این بود که در مناطقی از حوضه آبخیز افجه که برون‌زدگی‌های سنگی وجود دارد (گروه هیدرولوژیکی D) شماره منحنی بالاتر و در نتیجه پتانسیل تولید رواناب بیشتر می‌باشد. در نهایت مقادیر دبی برآورده با دبی مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفتند که مشخص شد در فصل تابستان و بهار، بین مقادیر دبی برآورده و مشاهداتی انطباق بیشتری نسبت به فصل زمستان و تابستان وجود دارد.

واژگان کلیدی: مخاطره، GIS، ارتفاع رواناب، حوضه آبخیز افجه.

## مقدمه

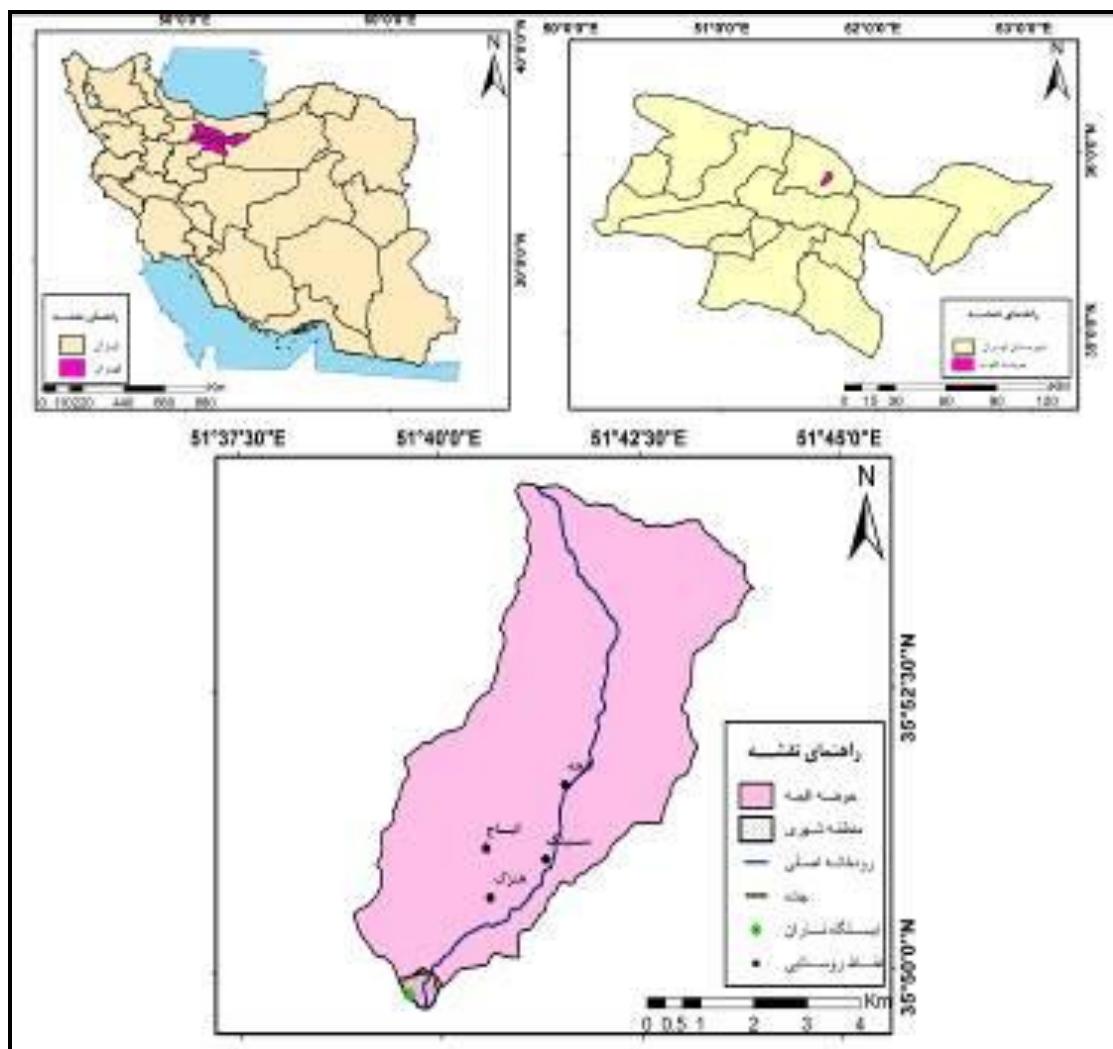
در ایران مخاطره رواناب و سیلاب عمومیت داشته و از آنجاییکه این کشور دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک بوده و بارش اندک و غالباً رگباری سالیانه آن از لحاظ زمانی و مکانی توزیع یکنواختی ندارد (پرنده خوزانی و لشکری، ۱۳۸۶)، بنابراین همه ساله شاهد وقوع این مخاطره باشد مختلف خواهیم بود. شناخت اقلیم و سپس برآورد رواناب یک منطقه به عنوان نخستین گام و ضروری ترین اقدام مطالعاتی برای طرح‌های عمرانی و کاهش بلایای طبیعی برای محققان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). جریان رواناب در سطح زمین باعث ایجاد مخاطراتی مانند پایین رفتن سطح آب زیرزمینی، مسائل اجتماعی از جمله مهاجرت جمعیت، فرسایش و کاهش حاصلخیزی خاک، رسوب‌گذاری در مخازن و کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها می‌باشد (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین آسیب رساندن به بخش کشاورزی، دامداری، آب‌گرفتگی معابر و خیابان‌ها، نشت زمین، تخریب منازل مسکونی و به هم خوردن نظام شهری، روستایی و عشایری، همگی نمونه‌ای چند و قابل بحث از مخاطراتی است که رواناب و جریان سیلاب‌ها علت آن‌هاست. شدت این مخاطرات در حوضه آبخیز افجه به دلیل موقعیت جغرافیایی، شرایط خاص اقلیمی، زمین‌شناسی و عوامل حوضه‌ای بیشتر بوده و همه‌ساله حجم عظیمی از جریان سیلاب باعث تخریب اماکن مسکونی، اراضی کشاورزی و خسارات جانی و مالی زیادی می‌گردد (سازمان جنگل‌ها و مرتع تهران، ۱۳۹۲). به همین منظور برآورد پتانسیل تولید رواناب و پیش‌بینی سیلاب در یک حوضه، جهت برنامه‌ریزی در حفاظت خاک و فرسایش و نیز مدیریت حوضه‌های آبخیز از لحاظ تولید رواناب و رسوب بسیار حائز اهمیت است (صفاری و همکاران، ۱۳۹۲). روش‌های مرسوم اندازه‌گیری رواناب در ایران به خاطر دسترس نبودن اکثر حوضه‌های آبخیز، یک امر پرهزینه، وقت‌گیر و مشکل است. علاوه بر این در بیشتر حوضه‌های آبخیز ایران، ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش یا رواناب وجود ندارد و یا داده‌های موجود ناقص می‌باشند. لذا مدل‌های هیدرولوژیکی و روش‌های مختلفی برای برآورد ارتفاع رواناب و پیشگیری از بلایه، تشخیص فرایند عناصر مخاطره آمیز و تقویت اینمی حوضه‌های آبخیز وجود دارد. در دهه‌های اخیر توسعه مدل‌های هیدرولوژیکی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در جهان مورد توجه محققان و دانشمندان قرار گرفت. یکی از این ابزارها، Arc- CN Runoff است که توسط ژانگ و همکاران در سال ۲۰۰۴ جهت تعیین ارتفاع و حجم رواناب براساس روش SCS ارائه شده است. از ویژگی‌های این ابزار محاسبه شماره منحنی و رواناب برای هر پلی‌گون به صورت مجزا است. در زمینه تعیین شماره منحنی و برآورد ارتفاع رواناب یک حوضه آبخیز نیز پژوهش‌هایی صورت گرفته است مانند: در مطالعه‌ای میزان رواناب یک حوضه جنگلی را در ایالت کالیفرنیا از طریق سه شیوه مختلف (رابطه دایکن، روش کوک و روش شماره منحنی) تعیین و مقایسه شد (Lewis et al., 2000). شای و همکاران در تحقیقی میزان نگهداشت اولیه مدل SCS- CN را در تجزیه و تحلیل بارش و رواناب در سه منطقه گورجیس چین ۲۹ رخداد بارندگی را مورد مطالعه قرار دادند (Shi et al., 2003). در پژوهشی ژانگ و هوانگ به منظور تعیین شماره منحنی و برآورد ارتفاع رواناب در ایالت کانزاس در آمریکا از ابزار Arc- CN Runoff استفاده کردند و نتایج مطالعه نشان داد که اراضی کشاورزی کمترین مقدار روناب و اراضی شهری بیشترین مقدار رواناب را تولید می‌کنند (Zhan and Huang, 2004). اینسی تکل و همکاران در مطالعه‌ای اعداد شماره منحنی برای حوضه گوونس در هندستان با استفاده از ابزارهای RS و GIS مشخص کردند و همچنین برای تعیین تراکم پوشش گیاهی نیز از شاخص NDVI استفاده کردند و اثرات تغییر شماره منحنی‌ها روی دبی سیلاب سطحی منطقه شنژه در چین را مورد بررسی قرار گرفت. تأثیرات رشد شهرنشینی را در از میان بردن پوشش گیاهی و افزایش رواناب را مورد توجه قرار گرفت و با استفاده از مدل SCS- CN و طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه به کلاس‌های مختلف کاربری اراضی به بررسی پتانسیل هر کلاس در تولید رواناب پرداخته شد و به یک رابطه معنی‌داری دست یافته شد (June et al., 2007). در تحقیقی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-1B، نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز رمی را طراحی شد

و سپس با تلفیق نقشه کاربری اراضی، پوشش زمین و نقشه خاک منطقه، گروههای هیدرولوژیکی خاک را تعیین کرده و نهایتاً با توجه به اطلاعات موجود و جدول استاندارد CN، شماره منحنی وزنی حوضه با توجه به مساحت تعیین گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که چون شرایط لازم برای پایش رواناب در حوضه آبخیز رمی وجود ندارد بنابراین می‌توان از روش شماره منحنی SCS برای پیش‌بینی رواناب استفاده نمود (Pandy et al., 2009). رشما و همکاران در پژوهشی روش SCS را با Rs و Gis تعیین و سیلاب را در حوضه مادی کوندا و زیرحوضه‌های آن مورد بررسی قرار دادند (Reshma et al., 2010). ساهو و همکاران در تحقیقی که در ۷۶ حوضه کشاورزی کوچک در کشور آمریکا انجام دادند. در این تحقیق مدل اولیه SCS-CN با سایر متغیرهای موجود م مقایسه قرار گرفت و در نهایت یک مدل بهبود یافته شده توسط نگارندگان ارائه شد (Sahu et al., 2010). ملکیان و همکاران (۱۳۸۳)، روش شماره منحنی را در حوضه آبخیز لیقوان در شمال غرب ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش شماره منحنی به دلیل خطای بسیار زیاد در برآورد دبی اوج، بدون انجام فرآیند منطقه‌ای نمودن، قابل توصیه برای حوضه آبخیز مورد مطالعه و نواحی مشابه نمی‌باشد. مریانجی و معروفی (۱۳۸۴)، با استفاده از روش SCS و GIS، رواناب ناشی از بارش ۲۴ ساعته در حوضه آبخیز قره چای را مطالعه کردند. یعقوب زاده و همکاران (۱۳۸۹) به تعیین شماره منحنی رواناب حوضه آبریز با استفاده از RS و GIS پرداخته‌اند. در این تحقیق، نقشه شماره منحنی رواناب با استفاده از GIS و تصاویر ماهواره لنdest ۸ در زیرحوضه از استان گلستان تهیه شده است. شماره منحنی رواناب بر اساس فاکتورهایی مانند گروه هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی، پوشش زمین و شرایط هیدرولوژیکی استفاده شده است. ثروتی و اردون (۱۳۹۰)، در مقاله‌ای توان سیلخیزی حوضه‌های آبخیز زیلکی و فیره رود را با استفاده از روش شماره منحنی مطالعه کردند. نتایج نشان داد که توان سیلخیزی حوضه آبخیز فیره رود نسبت به حوضه زیلکی بیشتر می‌باشد. جوادی و همکاران (۱۳۹۰)، با استفاده از ابزار Arc- CN Runoff در محیط نرم‌افزار GIS، ارتفاع رواناب حاصل از بارندگی ۶ ساعته در حوضه آبخیز آزادرود را برآورد کردند. نتایج نشان داد که استفاده از ابزار Arc- CN Runoff برای تعیین رواناب، از دقت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی برخوردار می‌باشد.

بنابراین هدف این پژوهش، برآورد ارتفاع رواناب در واحدهای مختلف تشکیل‌دهنده حوضه آبخیز افجه و همچنین پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب در حوضه آبخیز به منظور پیش‌بینی سیلاب و کاهش خطرات ناشی از آن می‌باشد. در راستای این مطالعه ضرورت شناخت ویژگی‌های محیطی مؤثر بر رواناب احساس می‌شود.

### داده‌ها و روش پژوهش

حوضه آبخیز افجه از شاخه‌های رودخانه جاجروم می‌باشد که در ۲۵ کیلومتری شمال شرقی تهران و در  $30^{\circ} 43' 51''$  طول شرقی و  $35^{\circ} 35' 54''$  عرض شمالی واقع شده و مساحت آن  $30/95$  کیلومتر مربع می‌باشد. حوضه افجه از شمال با حوضه آبخیز سد لار (شاخه آب چهل بره)، از جنوب با دریاچه سد لتيان، از شرق با حوضه آبخیز برگ جهان و از غرب با حوضه آبخیز کند هم مرز است. سرشاخه اصلی این رودخانه دائمی از کوه لاربایوچال که دارای ۳۷۲۰ متر ارتفاع بوده و در ۳۴ کیلومتری شمال شرق تهران واقع می‌باشد، سرچشمه می‌گیرد و در جهت جنوب جریان یافته و روستاهای افجه، سنیک و هنزنک را مشروب می‌کند و به دریاچه سد لتيان می‌ریزد. حداقل ارتفاع حوضه مورد مطالعه، ۱۷۴۲ متر و حداقل ارتفاع موجود در این حوضه ۳۷۰۲ متر می‌باشد (شکل ۱).



شکل (۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان تهران

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی، بر روی واحدهای سنگ‌شناسی مادستون آهکی، توف و گچ و سنگ بستر سازند کرج واقع شده است. بخش وسیعی از سنگ‌های حوضه آبخیز از نظر حساسیت دارای فرسایش متوسط است. به طور کلی رژیم بارندگی منطقه مورد مطالعه دارای رژیم مدیترانه‌ای (یک فصل مرطوب و یک فصل خشک) است (صفاری، ۱۳۸۷). برای انجام محاسبات آماری از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری که در مجاور منطقه مورد مطالعه است، استفاده گردید. با توجه به دوره آماری ۱۳۷۹ - ۱۳۹۲، متوسط بارندگی سالانه ۵۸۸/۵ میلیمتر می‌باشد. حداقل بارش‌های ماهانه ۱۰۴/۸۱ میلیمتر در اسفند ماه می‌باشد و حداقل بارش ۱۶/۸ میلیمتر در مرداد ماه رخ می‌دهد. همچنین حداقل دمای متوسط به ترتیب، ۱۵/۳۲ و ۴۰/۷ درجه سانتیگراد است.

در این تحقیق جمع‌آوری داده‌ها از طریق منابع کتابخانه‌ای و میدانی است. ابزارهای اصلی این تحقیق، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نیروهای مسلح) که با استفاده از نرم‌افزار GIS سیستم اطلاعات جغرافیایی Arc-CN Runoff رقیمی گردید تا بتوان مرز حوضه را استخراج کرد و سپس اطلاعات مورد لزوم را، سازماندهی، آنالیز، مدل‌سازی و نمایش داد. همچنین به منظور برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی و ابزار Arc-CN Runoff، از نقشه‌ها و اطلاعات کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک منطقه مورد مطالعه استفاده شد. سپس از ابزار Arc-CN Runoff به منظور

تهیه لایه‌ها و نقشه شماره منحنی (CN) استفاده گردید. در نهایت نقشه ارتفاع رواناب حوضه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شد.

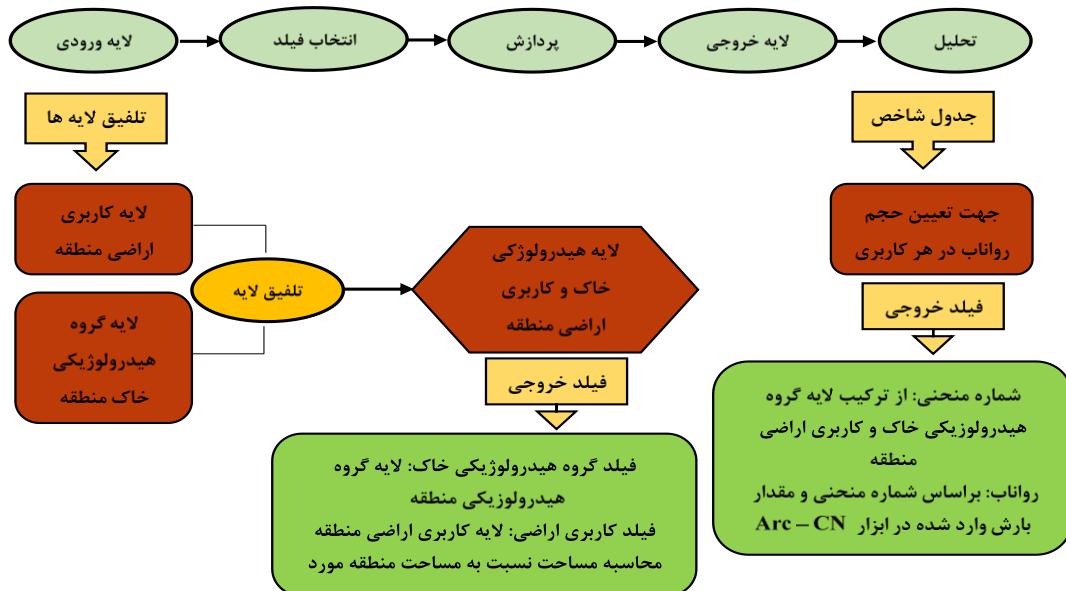
**کاربری اراضی:** برای نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز افجه ابتدا با استفاده از لایه شیپ فایلکاربری اراضی سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران و بهره‌گیری از نرم‌افزار Google Earth محدوده اولیه کاربری‌های موجود در حوضه مشخص گردید. در ادامه برای بعضی مناطق با بازدید میدانی نوع کاربری محدوده‌های مشخص شده کنترل شد. در نهایت نقشه کاربری اصلاح شده شامل پنج نوع کاربری متفاوت به دست آمد. بیشترین سطح کاربری مربوط به مرجع می‌باشد که ۱۶/۵۲ کیلومترمربع وسعت دارد.

**گروه هیدرولوژیکی خاک:** در این تحقیق جهت تعیین گروه‌های هیدرولوژیک خاک<sup>۱</sup> از مطالعات انجام شده و از لایه شیپ فایلگروه هیدرولوژیکی خاک سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران استفاده شد و در محیط نرم افزار Arc Gis حوضه آبخیز مورد مطالعه رقومی گردید. در واقع این گروه‌های هیدرولوژیک نشان دهنده وضعیت نفوذپذیری خاک حوضه آبخیز می‌باشند. براساس مطالعات انجام شده، حوضه آبخیز افجه دارای سه گروه خاک شامل B، C و D است که از نظر وسعت و گستردگی گروه C دارای بیشترین مساحت می‌باشد که پتانسیل تولید رواناب نسبتاً زیاد دارد (جدول ۱).

**شماره منحنی (CN):** به منظور تهیه نقشه شماره منحنی (CN) حوضه آبخیز افجه، نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک در محیط GIS، با استفاده از ابزار Arc- CN Runoff و دستور Perform Intersect با یکدیگر تلفیق شده و در نتیجه آن، نقشه‌هایی با واحدهای کوچکتر به دست آمد که هر واحد کوچک دارای یک نوع گروه هیدرولوژیکی با کاربری مشخص است سپس با استفاده از جدول شاخص (Index) مقدار شماره منحنی (CN) برای هر یک از گروه‌های هیدرولوژیکی خاک با توجه به نوع کاربری اراضی براساس جداول مربوطه از منابع موجود استخراج گردید. در واقع CN یک عدد بی بعد است که بین ۰ تا ۱۰۰ می‌باشد. CN ۱۰۰ یعنی تمام بارش تبدیل به رواناب می‌شود.

**برآورد ارتفاع رواناب:** بعد از تعیین شماره منحنی (CN) حوضه آبخیز، برای محاسبه ارتفاع رواناب تولید شده در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان؛ مقادیر بارندگی، فصل بهار در ۲۲ فروردین سال ۱۳۸۰ با مقدار بارش ۱۰/۷۹ میلی‌متر، فصل تابستان در ۱۳ شهریور سال ۱۳۸۶ با مقدار بارش ۳/۲۴ میلی‌متر، فصل پاییز در ۱۱ آذر سال ۱۳۹۰ با مقدار بارش ۱/۶۱ میلی‌متر و فصل زمستان در ۳ اسفند سال ۱۳۸۳ با مقدار بارش ۴/۰۴ میلی‌متر تعیین شد. سپس بین مقادیر بارش هر فصل برای هر ایستگاه و ارتفاع هر ایستگاه معادله رگرسیون گرفته شد و نقشه بارش هر فصل تهیه گردید (اشکال ۶ تا ۹ و جداول ۴ تا ۷). در نهایت به منظور محاسبه ارتفاع رواناب و تهیه نقشه رواناب، از میانگین وزنی بارش هر فصل در طبقات مختلف و ابزار Arc- CN Runoff و دستور Runoff استفاده شد. لازم به ذکر است که در نرم‌افزار Arc- CN Runoff مقدار بارش به واحد اینچ وارد می‌شود و در نتیجه مقدار رواناب را براساس واحد اینچ برآورد می‌کند (شکل ۲).

<sup>۱</sup>. Hydrologic Soil Groups



شکل ۲ : مراحل اجرای کار در ابزار Arc-CN Runoff (زانگ و هوآنگ، ۲۰۰۴)

بعد از تعیین ارتفاع رواناب سطحی ناشی از رگبار، دبی حداکثر (اوج سیل) با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد:

$$QP = \frac{2.083 \cdot A.R}{0.6TC + \sqrt{TC}} \quad (رابطه ۱)$$

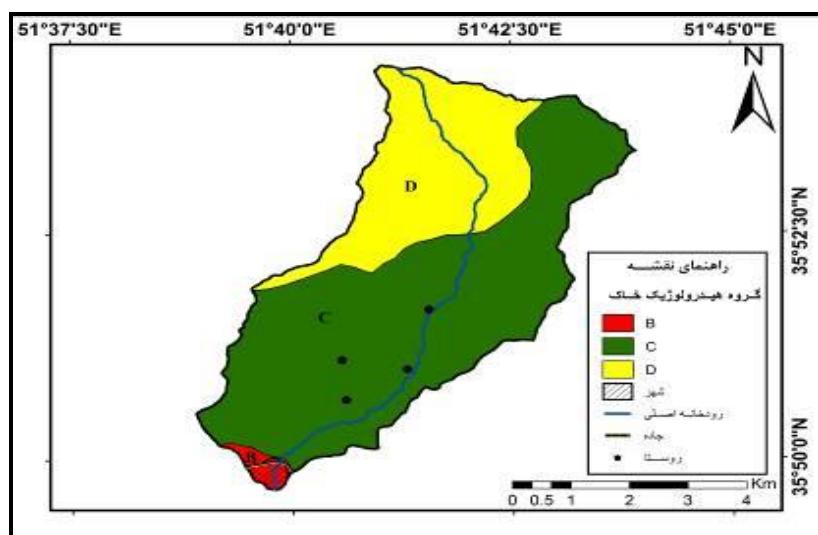
که در آن A مساحت حوضه به کیلومترمربع، R ارتفاع رواناب به سانتیمتر، Tc زمان تمرکز به ساعت و Qp دبی اوج (حداکثر) رواناب به مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. در این پژوهش برای محاسبه زمان تمرکز از روش کرپیچ<sup>۱</sup> به واسطه‌ی تأیید عملکرد آن در منطقه مورد مطالعه (براساس مطالعات سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران)، استفاده شده است و مقدار آن برای حوضه آبخیز افجه ۱/۰۸ ساعت محاسبه گردیده است.

### شرح و تفسیر نتایج

**گروه هیدرولوژیک خاک:** براساس مطالعات انجام شده، از نظر وسعت و گستردگی گروه C دارای بیشترین مساحت می‌باشد که پتانسیل تولید رواناب نسبتاً زیاد دارد (جدول ۱). با تطبیق نقشه گروه هیدرولوژیک خاک و واحدهای سنگ‌شناسی حوضه می‌توان نمود لایه‌های سنگی توف سبز توده‌ای و کنگلومرای ضخیم در گروه هیدرولوژیک D قرار می‌گیرند و لایه‌های سنگی توف سبز ضخیم، مارن و ماسه‌سنگ در گروه هیدرولوژیک C و لایه سنگی مادستون آهکی ضخیم در گروه هیدرولوژیک B جای دارند (شکل ۳).

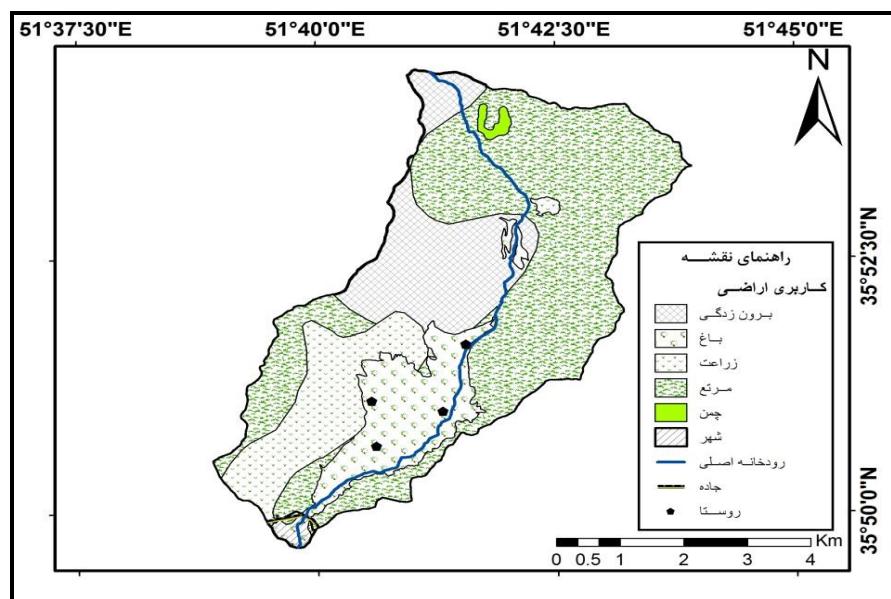
جدول (۱). معیار طبقه‌بندی گروههای هیدرولوژیک خاک حوضه آبخیز افجه

| D       | C           | B     | نرخ نفوذ             | گروه هیدرولوژیک خاک |
|---------|-------------|-------|----------------------|---------------------|
| خیلی کم | کم          | متوسط |                      | ویژگی               |
| زیاد    | نسبتاً زیاد | متوسط | توانایی تولید رواناب |                     |
| ۹/۳۱    | ۲۱/۰۹       | ۰/۵   | مساحت (کیلومترمربع)  |                     |



شکل (۳). نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز افجه (مأخذ: سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران)

کاربری اراضی: وضعیت هیدرولوژیک اراضی و انواع کاربری‌ها در حوضه آبخیز افجه براساس نتایج حاصل شده به صورت زیر می‌باشد (شکل ۴). بیشتر مساحت حوضه آبخیز متعلق به مراتع با پوشش متوسط است که ۵۳/۳۷ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود و در گروه هیدرولوژیکی C که از لحاظ تولید رواناب، دارای پتانسیل نسبتاً بالایی هستند، قرار دارد. کاربری بروزنزدگی سنگی در رتبه بعدی قرار می‌گیرد که در گروه هیدرولوژیکی D قرار دارد (جدول ۲).

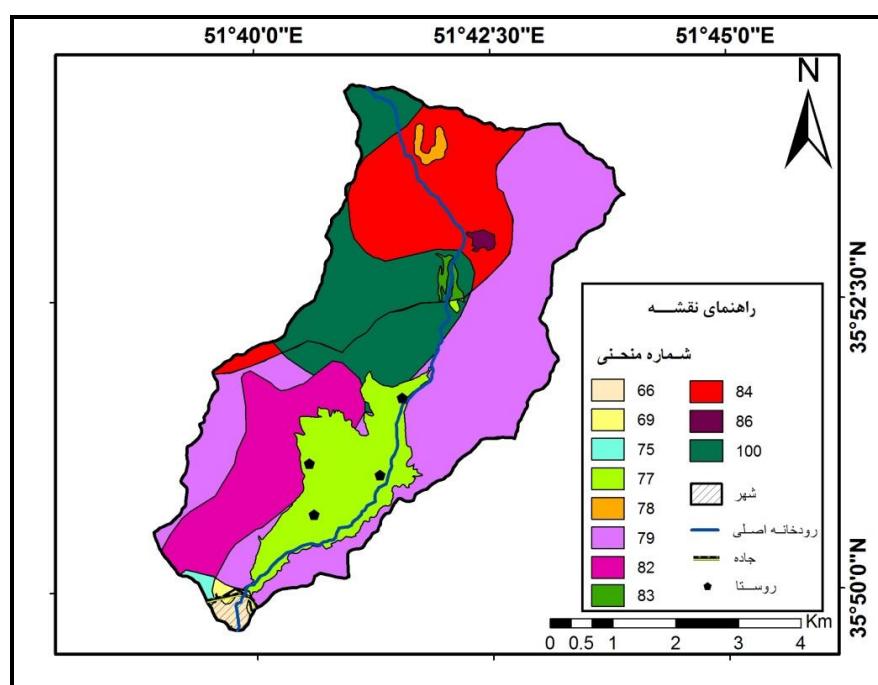


شکل ۴: نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز افجه (مأخذ: سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران)

جدول(۲). مساحت کاربری های موجود در حوضه آبخیز افجه

| مساحت<br>(کیلومترمربع) | نوع کاربری | مساحت<br>(کیلومترمربع) | نوع کاربری    |
|------------------------|------------|------------------------|---------------|
| ۴/۲۲                   | زراعت      | ۴/۴۱                   | باغ           |
| ۰/۱۸                   | چمنزار     | ۱۶/۵۲                  | مرتع          |
|                        |            | ۵/۵۹                   | برونزدگی سنگی |
| ۳۰/۹۵                  |            |                        | مجموع         |

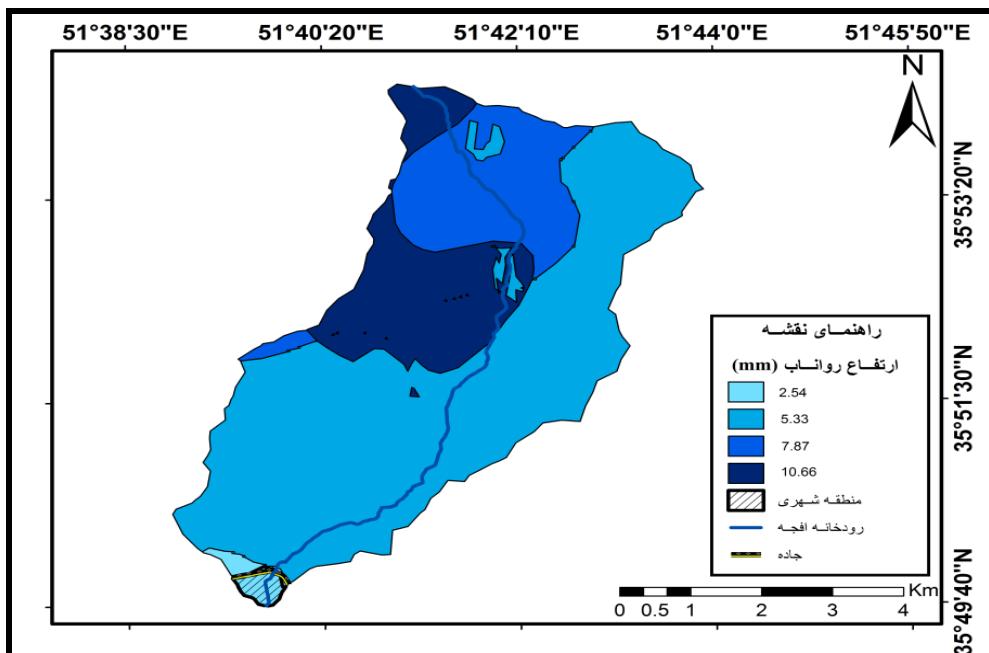
شماره منحنی رواناب (CN): نقشه های کاربری اراضی و گروه های هیدرولوژیکی خاک با یکدیگر تلفیق شدند و برای هر محدوده شماره منحنی (CN) استخراج و نقشه CN تهیه شد. براساس شکل ۵ و جدول ۵، حوضه افجه دارای شماره منحنی ۶۶ تا ۱۰۰ است. بالاترین ارزش شماره منحنی ۱۰۰ است که مربوط به برونزدگی سنگی حوضه آبخیز افجه می باشد که عملأً غیر قابل نفوذ می باشدند به همین دلیل تمام بارش تبدیل به رواناب می شود. در واقع شماره منحنی ۱۰۰ در برونزدگی های سنگی ۵/۵۹ کیلومتر مربع از مساحت حوضه آبخیز افجه را شامل می شود. اما باغها و زمین زراعی کمترین میزان CN (شماره منحنی ۶۶ تا ۷۷) را در حوضه افجه دارند و ۴/۵۳ کیلومتر مربع از مساحت حوضه را در بر می گیرد. بنابراین قسمت های پایین دست دارای CN کمتری نسبت به بالادست حوضه می باشد.



جدول (۳). مقادیر شماره منحنی حوضه آبخیز افجه براساس جدول شاخص (Index)

| D  | C  | B  | A  | گروه خاک<br>کاربری | D   | C   | B   | A   | گروه خاک<br>کاربری |
|----|----|----|----|--------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------|
| ۸۴ | ۷۹ | ۶۹ | ۴۹ | مرتع               | ۸۶  | ۸۲  | ۷۵  | ۶۵  | زراعت              |
| ۸۳ | ۷۷ | ۶۶ | ۴۵ | باغ                | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | بلوک ساختمانی      |
|    |    |    |    |                    | ۷۸  | ۷۱  | ۵۸  | ۳۰  | چمنزار             |

ارتفاع رواناب تولید شده در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان؛ مقادیر بارندگی، فصل بهار در ۲۲ فروردین سال ۱۳۸۰ با مقدار بارش ۱۰/۷۹ میلی‌متر، فصل تابستان در ۱۳ شهریور سال ۱۳۸۶ با مقدار بارش ۳/۲۴ میلی‌متر، فصل پاییز در ۱۱ آذر سال ۱۳۹۰ با مقدار بارش ۱/۶۱ میلی‌متر و فصل زمستان در ۳ اسفند سال ۱۳۸۳ با مقدار بارش ۴/۰۴ میلی‌متر تعیین شد. به همین ترتیب مقادیر بارندگی روزانه در چهار فصل سال انتخاب گردید، سپس ارتفاع رواناب حوضه افجه محاسبه شد (اشکال ۶ تا ۹ جداول ۴ تا ۷).

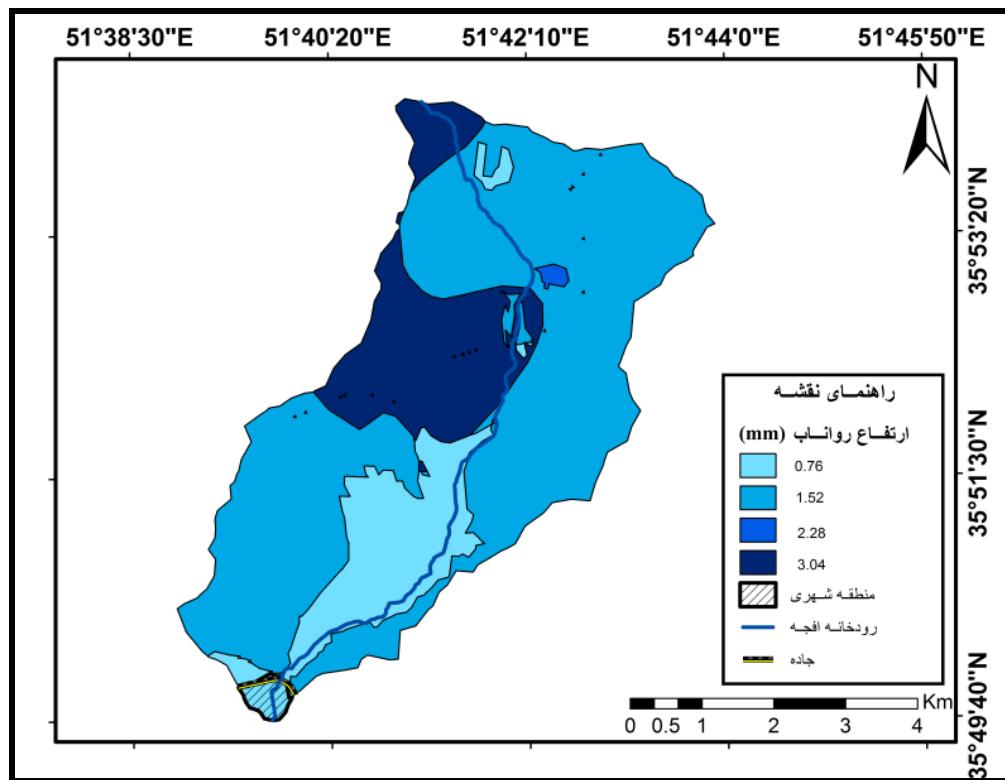


شکل (۶). شهار ارتفاع رواناب حاصل از میانگین بارندگی روزانه فصل بهار حوضه آبخیز افجه

جدول ۴: مساحت و حجم رواناب فصل بهار در واحدهای تولیدکننده رواناب حوضه آبخیز افجه (دوره آماری ۱۳۹۲ - ۱۳۷۹، شرکت مدیریت منابع آب ایران)

| تاریخ رویداد | میانگین وزنی<br>بارش فصل بهار<br>(میلیمتر) | ارتفاع رواناب<br>(میلی‌متر) | مساحت<br>(مترمربع) | ضریب<br>رواناب<br>(درصد) | حجم رواناب<br>(مترمکعب در<br>روز) | گروه<br>هیدرولوژیک<br>خاک | دبی اوج<br>$M^3/S$ |
|--------------|--|-----------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------|
| ۱۰/۷۹        | ۱۳۸۰/۰۱/۲۲                                 | ۲/۵۴                        | ۲۰۵۳۰۰/۸۸          | ۲۳/۵۴                    | ۵۲۱۴/۶۴                           | B                         | ۰/۶۴               |
|              |  | ۵/۳۳                        | ۱۹۵۵۶۳۲۵/۴۸        | ۴۹/۳۹                    | ۱۰۴۲۳۵۲/۱۴                        | C                         | ۱۲/۹۹              |
|              |  | ۷/۸۷                        | ۵۲۴۳۹۱۷/۶۵         | ۷۲/۹۳                    | ۴۱۲۶۹۶/۳۱                         | D                         | ۵/۱۴               |
|              |  | ۱۰/۶۶                       | ۵۵۸۴۱۷۵/۴۶         | ۹۸/۷۹                    | ۵۹۵۲۷۳/۱                          | D                         | ۷/۴۱               |

با توجه به شکل ۶ و جدول ۴، براساس میانگین روزانه بارش فصل بهار با مقدار  $10/79$  میلی‌متر و طبقه‌بندی رواناب، در قسمت کوچکی از اراضی باغ حوضه آبخیز به دلیل بالا بودن نفوذپذیری خاک  $2/54$  میلی‌متر از بارش تبدیل به رواناب شده است درصورتی که در بروز زدگی‌های سنگی به دلیل نفوذناپذیر بودن سطح  $10/66$  میلی‌متر از بارش تبدیل به رواناب شده است.

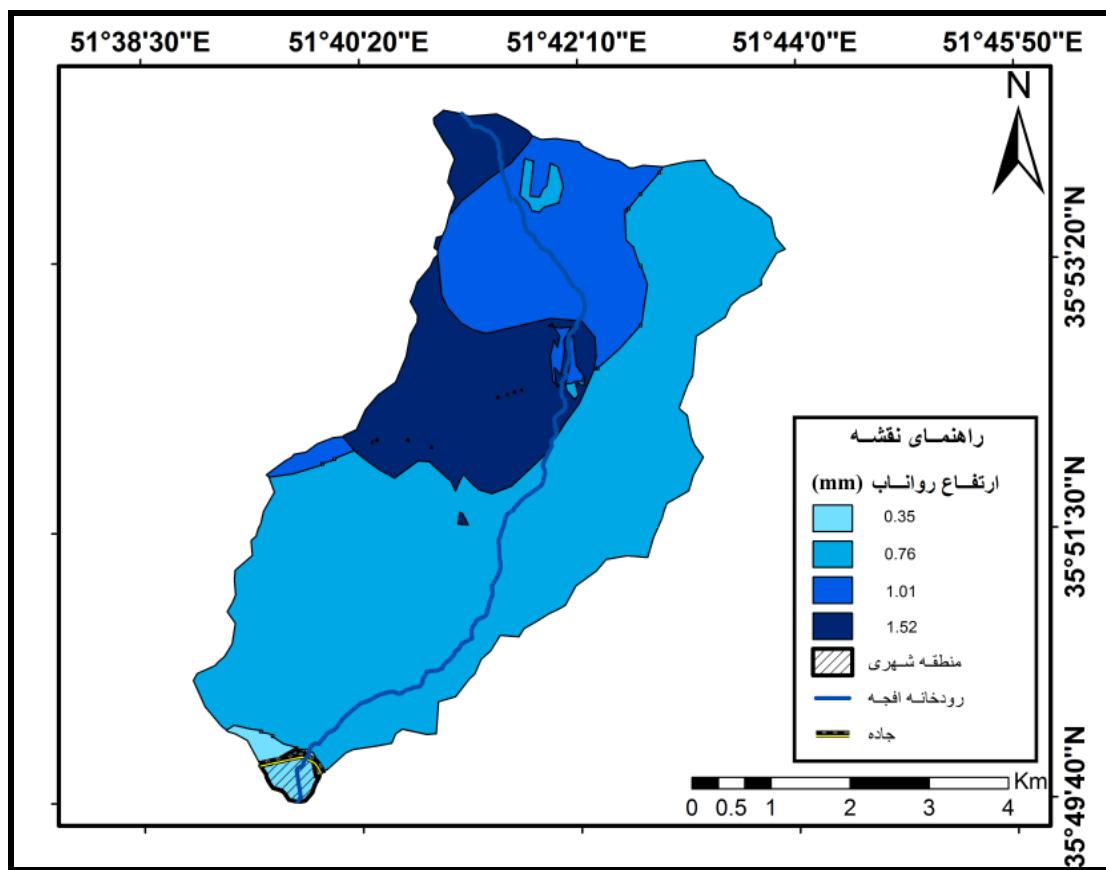


شکل(۷). نقشه ارتفاع رواناب حاصل از بارندگی روزانه فصل تابستان حوضه آبخیز افجه

جدول (۵). مساحت و حجم رواناب فصل تابستان در واحدهای تولیدکننده رواناب حوضه آبخیز افجه (دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۷۹، شرکت مدیریت منابع آب ایران)

| تاریخ رویداد | میانگین وزنی بارش فصل تابستان (میلی‌متر) | ارتفاع رواناب (میلی‌متر) | مساحت (مترمربع) | ضریب رواناب (درصد) | حجم رواناب (در روز) | گروه هیدرولوژیک خاک | دبی اوج $M^3/S$ |
|--------------|--|--------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| ۱۳۸۳/۰۶/۱۳   | ۳/۲۴                                     | ۰/۷۶                     | ۴۷۲۷۴۰۸/۶۲      | ۲۳/۵۱              | ۳۵۹۲/۸۳             | B                   | ۰/۴۴            |
|              |  | ۱/۵۲                     | ۲۰۴۷۶۶۳۱/۱۳     | ۴۷/۰۳              | ۳۱۱۲۴/۴۷            | C                   | ۳/۸۸            |
|              |  | ۲/۲۸                     | ۱۰۲۳۶۰/۷۸       | ۷۰/۵۵              | ۲۳۳/۳۸              | D                   | ۰/۲۹            |
|              |  | ۳/۰۴                     | ۵۵۸۴۸۸۹/۱۵      | ۹۴/۰۷              | ۱۶۹۷۸/۰۶            | D                   | ۲/۱۱            |

با توجه به شکل ۷ و جدول ۵، براساس میانگین روزانه بارش فصل تابستان با مقدار  $3/24$  میلی‌متر و طبقه‌بندی رواناب، در اراضی باغ حوضه آبخیز به دلیل بالا بودن نفوذپذیری خاک  $0/76$  میلی‌متر از بارش تبدیل به رواناب شده است و بیشتر بارش در خاک نفوذ کرده است درصورتی که در بروز زدگی‌های سنگی به دلیل نفوذناپذیر بودن سطح  $3/04$  میلی‌متر از بارش تبدیل به رواناب شده است.

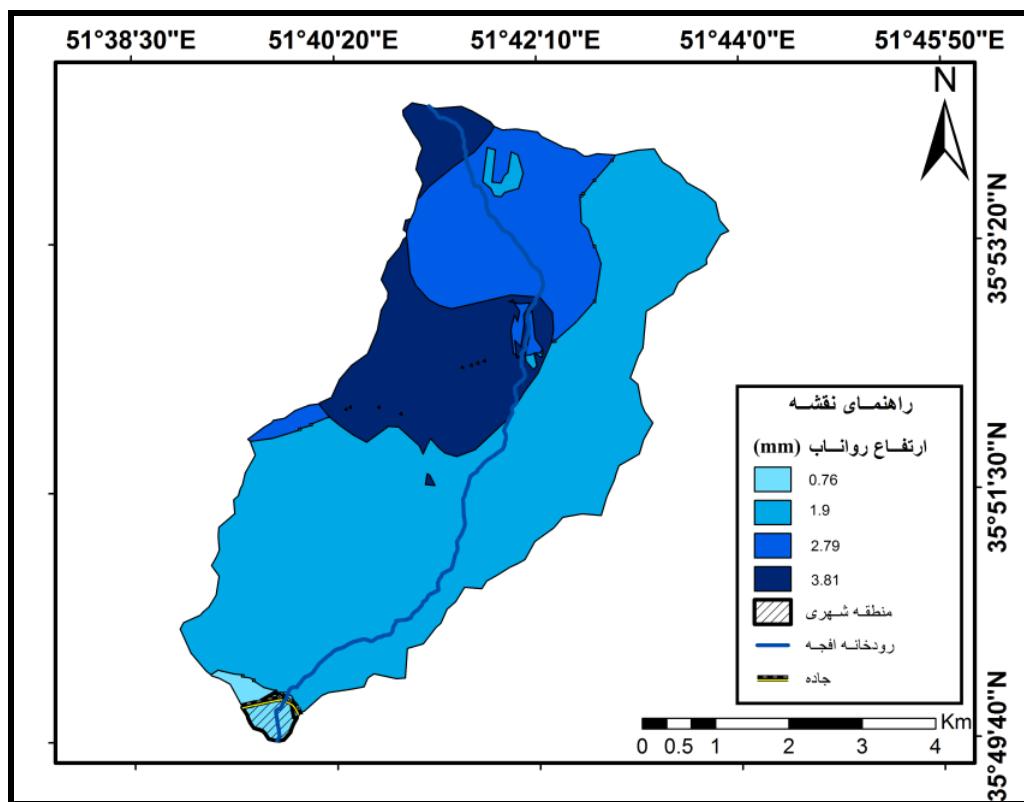


شکل (۸). نقشه ارتفاع رواناب حاصل از بارندگی روزانه فصل پاییز حوضه آبخیز افجه

جدول (۶). مساحت و حجم رواناب فصل پاییز در واحدهای تولیدکننده رواناب حوضه آبخیز افجه (دوره آماری ۱۳۹۲ - ۱۳۷۹)  
شرکت مدیریت منابع آب ایران)

| دیجیت<br>اوچ<br>$M^3/S$ | گروه<br>هیدرولوژیک<br>خاک | حجم رواناب<br>(مترمکعب در<br>روز) | ضریب<br>رواناب<br>(درصد) | مساحت<br>(مترمربع) | ارتفاع رواناب<br>(میلی متر) | میانگین وزنی بارش<br>فصل پاییز (میلیمتر) | تاریخ رویداد |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------|--|--------------|
| ۰/۱۵                    | B                         | ۱۲۶/۳۲                            | ۱۵/۷۷                    | ۵۰۵۳۰۰/۸۸          | ۰/۲۵                        | ۱/۶۱                                     | ۱۳۹۱/۰۹/۱۱   |
| ۱/۸۳                    | C                         | ۱۴۷۵۵/۳۷                          | ۴۷/۳۲                    | ۱۹۴۱۴۹۶۴/۷۷        | ۰/۷۶                        |  |              |
| ۰/۶۷                    | D                         | ۵۴۳۸/۹۲                           | ۶۱/۱                     | ۵۳۸۵۰۷۴/۰۸         | ۱/۰۱                        |  |              |
| ۱/۰۵                    | D                         | ۸۴۸۷/۷۷                           | ۹۴/۶۵                    | ۵۵۸۴۰۵۹/۳۷         | ۱/۵۲                        |  |              |

با توجه به شکل ۸ و جدول ۶، براساس میانگین روزانه بارش فصل پاییز با مقدار ۱/۶۱ میلی متر و طبقه‌بندی رواناب، در قسمت کوچکی از اراضی باغ پایین دست حوضه آبخیز به دلیل بالا بودن نفوذپذیری خاک ۰/۲۵ میلی متر از بارش تبدیل به رواناب شده است و بیشتر بارش در خاک نفوذ کرده است درصورتی که در بروز زدگی‌های سنگی به دلیل نفوذناپذیر بودن سطح ۱/۵۲ میلی متر از بارش تبدیل به رواناب شده است.



شکل ۹: نقشه ارتفاع رواناب حاصل از بارندگی روزانه فصل زمستان حوضه آبخیز افجه

جدول ۷: مساحت و حجم رواناب فصل زمستان در واحدهای تولیدکننده رواناب حوضه آبخیز افجه (دوره آماری ۱۳۹۲ - ۱۳۷۹)  
شرکت مدیریت منابع آب ایران)

| دیجیتی<br>M³/S | گروه<br>هیدرولوژیک<br>خاک | حجم رواناب<br>(مترمکعب در<br>روز) | ضریب<br>رواناب<br>(درصد) | مساحت<br>(مترمربع) | ارتفاع رواناب<br>(میلی‌متر) | میانگین وزنی بارش<br>فصل زمستان<br>(میلی‌متر) | تاریخ رویداد |
|----------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------|---|--------------|
| ۰/۴۷           | B                         | ۳۸۴/۰۲                            | ۱۸/۸۱                    | ۵۰۰۵۳۰/۸۸          | ۰/۷۶                        | ۴/۰۴  | ۱۳۸۳/۱۲/۳    |
| ۴/۵۹           | C                         | ۳۶۸۸۸/۴۳                          | ۴۷/۱۵                    | ۱۹۴۱۴۹۶۴/۷۷        | ۱/۹                         |   |              |
| ۱/۸۷           | D                         | ۱۵۰۲۴/۳۵                          | ۶۹/۱۵                    | ۵۳۸۵۰۷۴/۰۸         | ۲/۷۹                        |   |              |
| ۲/۶۵           | D                         | ۲۱۲۷۵/۲۶                          | ۹۴/۳                     | ۵۵۸۴۰۵۹/۳۷         | ۳/۸۱                        |   |              |

با توجه به شکل ۹ و جدول ۷، براساس میانگین روزانه بارش فصل زمستان با مقدار ۴۰۰ میلی‌متر و طبقه‌بندی رواناب، در بخش کوچکی از اراضی باغ حوضه آبخیز به دلیل بالا بودن نفوذپذیری خاک ۰/۷۶ میلی‌متر از بارش تبدیل به رواناب شده است و بیشتر بارش در خاک نفوذ کرده است درصورتی که در بروز زدگی‌های سنگی به دلیل نفوذناپذیر بودن سطح ۳/۸۱ میلی‌متر از بارش تبدیل به رواناب شده است.

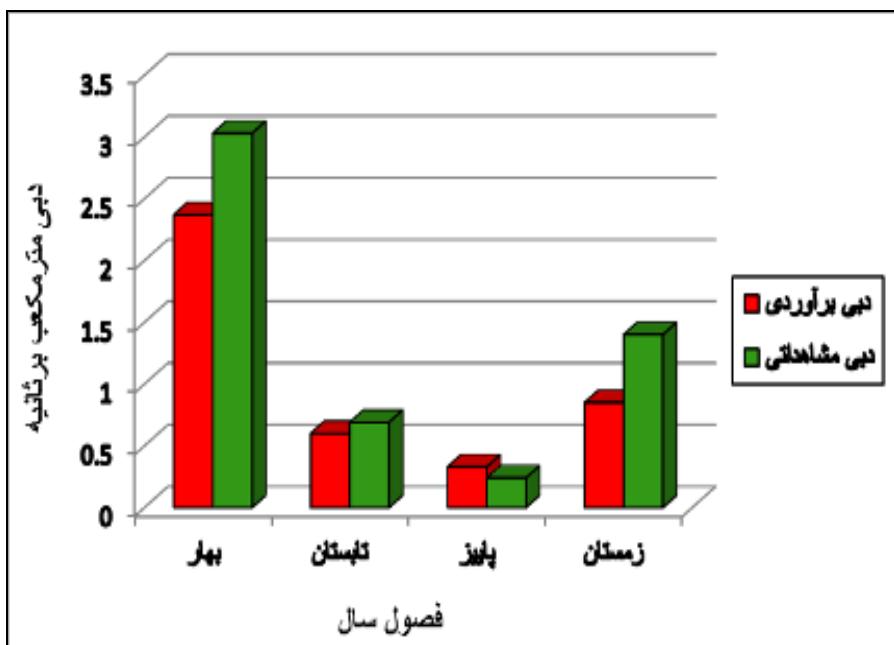
به طور کل می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به نقشه‌های پتانسیل تولید رواناب حوضه آبخیز افجه در طول سال، بروز زدگی‌های سنگی واقع در پایین بالادست حوضه آبخیز و بخش‌های میانی حوضه به دلیل قابلیت نفوذپذیری کم، بیشترین رواناب حوضه آبخیز افجه را تولید می‌کنند. اما اراضی کشاورزی و باغ واقع در پایین‌دست حوضه آبخیز افجه به دلیل نفوذپذیری بالا، کمترین میزان رواناب را تولید می‌کند.

امروزه مطالعات پیرامون مخاطرات محیطی و رصد عوامل تأثیرگذار از مشخصه‌های مدیریت شناخت بحران تلقی می‌شود. بی‌شک نقش رواناب و سیلاب در توازن و تعادل اکولوژیکی جغرافیایی نقش بسیار مؤثر و تأثیرگذاری دارد. چنانچه بتوان در این زمینه رفتار عناصر اقلیمی با پارامترهای مؤثر را شناخت؛ می‌توان با اعمال مدیریت نسبت به کاهش مخاطرات، کمترین هزینه را به خوبی مدیریت نمود. لذا بررسی نتایج تحقیقات مختلف در زمینه برآورد رواناب با روش‌های و مدل‌های هیدرولوژیکی انجام شده است؛ در تحقیقی که توسط جوادی و همکاران در حوضه آبخیز آزادرود انجام شد، نشان داد که مقدار ارتفاع رواناب در کاربری‌های مختلف متفاوت است و در مراتع با پوشش متوسط بیشترین مقدار رواناب تولید می‌شود در حالیکه در جنگلهای انبوه میزان تولید رواناب ناچیز است (جوادی و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به اینکه بیش تر سطح منطقه، پتانسیل تولید رواناب متوسط می‌باشد، به همین دلیل باید اقدامات اساسی برای جلوگیری از ایجاد رواناب و سیل در موقع بارندگی صورت گیرد. از جمله اقدامات اساسی در راستای افزایش نفوذ آب، استقرار سیستم جمع‌آوری آب باران، افزایش پوشش گیاهی از طریق بوته کاری گیاهان مرتعی ضروری است. اجرای این اقدامات اصلاحی می‌تواند شرایط را برای گسترش پوشش گیاهی و کاهش رواناب حوضه آبخیز مساعدتر کند. بنابراین نوع کاربری اراضی مهم‌ترین پارامتر بر روی رواناب حوضه می‌باشد و در یک دید کلی بخش‌های بالادست حوضه، به دلیل اینکه برون‌زدگی‌های سنگی وجود دارند، بیشترین رواناب منطقه را ایجاد می‌کنند. همچنین به منظور صحبت‌سنجی مقادیر رواناب برآورده شده توسط ابزار Arc- CN Runoff، از داده‌های دبی ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری مجاور منطقه به منظور مقایسه مقدار دبی برآورده شده و دبی مشاهداتی، استفاده گردید. در نهایت میزان اختلاف دبی برآورده شده و دبی مشاهداتی تعیین گردید (جدول ۸ و شکل ۱۰).

جدول (۸). مقایسه درصد اختلاف مقادیر دبی برآورده شده و دبی مشاهداتی حوضه آبخیز افجه (دوره آماری ۱۳۹۲ - ۱۳۷۹)

شرکت مدیریت منابع آب ایران)

| درصد اختلاف بین مقادیر برآورده و مشاهداتی | رواناب مشاهداتی        |                  | مجموع رواناب برآورده (مترمکعب) | فصل     |
|---|------------------------|------------------|--------------------------------|---------|
|   | دبی (مترمکعب بر ثانیه) | حجم آب (مترمکعب) |                                |         |
| ۲۷/۳۵                                     | ۲۶۱۷۹۲                 | ۳/۰۳             | ۲۰۵۵۵۳/۶۱                      | بهار    |
| ۱۴/۸                                      | ۵۹۶۱۶                  | ۰/۶۹             | ۵۱۹۲۸/۷۴                       | تابستان |
| ۷۱/۹۷                                     | ۲۰۷۳۶                  | ۰/۲۴             | ۲۸۸۰۸/۳۸                       | پاییز   |
| ۶۴/۴۲                                     | ۱۲۰۹۶۰                 | ۱/۴              | ۷۳۵۷۲/۰۶                       | زمستان  |



شکل (۱۰). نمودار مقایسه اختلاف دبی برآورده و مشاهداتی حوضه آبخیز افجه

براساس جدول ۸ و شکل ۱۰، مقادیر دبی برآورده و مشاهداتی حوضه آبخیز افجه در فصل پاییز و زمستان انطباقی با هم ندارند زیرا این احتمال وجود دارد که در فصل پاییز و زمستان بخشی از بارش‌ها به شکل برف است و به همین دلیل میزان اختلاف دبی برآورده و مشاهداتی زیاد می‌باشد اما در فصل‌های بهار و تابستان به دلیل اینکه خاک خشک و بدون رطوبت پیشین می‌باشد، گیاهان کمتر هستند و حالت نگهداری آب باران را ندارند لذا بین مقادیر دبی برآورده و مشاهداتی انطباق بیشتری نسبت به فصل پاییز و زمستان وجود دارد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه عوامل زیادی در مقدار CN تأثیر گذارند و در روش‌های دستی در گذشته برای هر واحد کوچک (پلی‌گون) یک CN فرض می‌شد که دور از واقعیت بود لذا در این تحقیق با استفاده از GIS و سنجش از دور و خاصیت سلولی، شماره منحنی رواناب برای هر پیکسل محاسبه گشته که به واقعیت نزدیکتر است. با توجه به اینکه شماره‌های منحنی در مقدار رواناب و بارندگی مؤثر حائز اهمیت هستند لذا تعیین دقیق مقدار آنها لازم می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که نوع کاربری اراضی در سطح حوضه آبخیز مهمترین پارامتر تعیین کننده نفوذ بوده و بر روی رواناب حوضه تأثیرگذار است. بر اساس مطالعات انجام شده و با توجه به نقشه‌های پتانسیل تولید رواناب حوضه آبخیز افجه (اشکال ۶ تا ۹)، در کاربری باغ با مقدار شماره منحنی ۶۶ و بارش روزانه (به عنوان مثال در فصل زمستان با مقدار بارش ۴۰/۴ میلی‌متر)، ارتفاع رواناب ۷۶/۰ میلی‌متر و دبی اوج ۴۷/۰ مترمکعب بر ثانیه بوده و دارای کمترین پتانسیل تولید رواناب می‌باشد و در فصل زمستان بروز زدگی‌های سنگی بالادست حوضه مورد مطالعه با شماره منحنی ۱۰۰، ارتفاع رواناب ۳/۸۱ میلی‌متر و دبی اوج ۲/۶۵ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد یعنی بیشترین پتانسیل تولید رواناب را داراست و تقریباً کل بارندگی تبدیل به رواناب می‌شود. بنابراین کمبود منابع آب، وجود اقلیم خشک و نیمه‌خشک در کشور و دستیابی به توسعه پایدار سبب استفاده بهینه‌ای از منابع آب می‌گردد. یکی از مشکلات عمدی در جوامع و

مراکز صنعتی و شهری، رواناب ناشی از بارندگی در این مناطق و به تبع آن ایجاد آب‌گرفتگی در این گونه مراکز و قوع رواناب و سیلاب می‌باشد. مسئله و مخاطره اصلی بعد از هر بارندگی ایجاد رواناب در سطح آن منطقه می‌باشد. با گسترش شهرنشینی و روند رو به رشد آن، با وقوع هر بارش و تولید رواناب، معابر شهری دچار گرفتگی می‌شود. با توجه به سطوح زیاد معابر شهری و پوشش غیرقابل نفوذ آسفالت، در هر نوبت بارش حجم قابل توجهی رواناب تولید می‌شود که در صورت عدم استفاده به سرعت در مسیر زهکش‌های شهری از دسترس خارج می‌شود. در کشور ما بیشتر سعی بر آن است تا رواناب به خارج از شهر منتقل گردد. در صورتی که می‌توان از این رواناب استفاده سودمندتری داشت.

#### منابع

- احمدی، محمود؛ حسن لشکری و پرستو عظیمی. ۱۳۹۴. بالاترین بارش محتمل ۲۴ ساعته و تاثیر آن در مخاطرات هیدرولوژیکی منطقه جنوب غرب خوزستان، مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲؛ ۶۳-۸۹.
- پرنده خوزانی، اکرم و حسن لشکری. ۱۳۸۹. بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب ایران، فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، ۲؛ ۶۶-۷۳.
- جوادی، محمدرضا؛ فرشاد میردار هریجانی و زهرا چترسیما. ۱۳۹۰. برآورد ارتفاع رواناب با استفاده از روش شماره منحنی در محیط نرم افزاری Arc GIS با ابزار Arc CN-Runoff، فصلنامه کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه ریزی، ۳؛ ۶۲-۵۵.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. ۱۳۷۵. نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰؛ تهران، شمال تهران.
- سازمان منابع آب کشور. تمام. داده‌های باران‌سنجی و تبخیر‌سنجی ایستگاه‌های وزارت نیرو ۱۳۹۲-۱۳۷۹.
- سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران. ۱۳۹۲. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، تهران، شمال تهران.
- سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران. ۱۳۹۰. نقشه کاربری اراضی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، تهران، شمال تهران.
- سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران. ۱۳۹۲. گزارش هیدرولوژی شمال تهران.
- صفاری، امیر. ۱۳۸۷. قابلیت‌های محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی کلان شهر تهران به منظور توسعه و ایمنی، پایان نامه دکتری، دانشگاه تهران؛ ۲۱۵.
- صفاری، امیر؛ عزت الله قنواتی؛ جاوید بهشتی و ابراهیم حسینی. ۱۳۹۱. برآورد پهنی بندی رواناب ناشی از بارش ۲۴ ساعته با استفاده از روش SCS-CN حوضه سد یامچی اردبیل، فصلنامه بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران، ۲۸؛ ۲۱۷-۲۰۱.
- ثروتی، محمدرضا و بهزاد اردوان. ۱۳۹۰. برآورد پتانسیل سیلاب با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک در دو حوضه آبخیز زیلکی و فیره‌رود با استفاده از روش SCS، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۳۰؛ ۴۷-۳۳.
- گودرزی، محمدرضا؛ باقر ذهیبیون؛ علیرضا مساح برانی و علیرضا کمال. ۱۳۹۱. مقایسه عملکرد سه مدل SWAT، IHACRES، SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب حوضه قره سو، مجله مدیریت آب و آبیاری، ۱؛ ۴۰-۲۵.
- مریانچی، زهرا و صفر معروفی. ۱۳۸۴. بررسی رواناب ناشی از بارش حداقل ۲۴ ساعته در حوضه آبریز قره‌چای با استفاده از روش SCS و کاربرد GIS، مجله پژوهش کشاورزی، ۵؛ ۸۳-۷۱.
- ملکیان، آرش؛ محمد محسنی ساروی و محمد مهدوی. ۱۳۸۴. برآورد دبی حداقل سیل با استفاده از روش‌های مختلف شماره منحنی (مطالعه موردنی البرز مرکزی)، مجله منابع طبیعی، ۵۸؛ ۳۲۴-۳۱۵.

- یعقوب زاده، مصطفی؛ شیرین صاحبدل و مسعود جعفری روذری. ۱۳۸۹. تعیین شماره منحنی رواناب حوضه آبریز با استفاده از GIS و RS. همایش ملی ژئوماتیک؛ ۱-۸.
- Inci Tekeli, Y; Akgüll, S; Dengiz, O and Aküzüm, T. ۲۰۰۶. Estimation of flood discharge for small watershed using SCS curves number and geographic Information System. *River basin flood management journal*, ۲; ۵۲۷ -۵۳۸.
- Jun, S.H; Yuan, Y and Jing, Zh. ۲۰۰۷. The effect of landuse/ cover change on surface Runoff in Shenzheh Region, china, *Institute of Resouecess Science Beigining normal university*, Vol ۶۹; ۳۱ -۳۵.
- Lewis, D; Singer, M. J and Kate, K. W. ۲۰۰۷. Applicability of SCS curve number method for a California Woodlands Watershed, *Journal of Soil and Water Conservation, Second Quarter*, ۳; ۴۸ -۵۵
- Pandey, A. and Sahu, A.K. ۲۰۰۹. Generation of Curve number using remote sensing and Geographic Information system, north eastern regional institute of science and technology, Department of agricultural engineering, India. Letter, ۲; ۱ -۱۵
- R.K. Sahu; S.K. Mishra and T.I. Eldho. ۲۰۱۰. Comparative evaluation of SCS-CN-inspired models in applications to classified datasets. *Agricultural Water Management*, Vol ۹۷; ۷۵۶ p.
- Shi, Z. H; L. D. Chen; N. F. Fang; D. F. Qin and C. F. Cai. ۲۰۰۳. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the three Gorges area, China. *Catena*, Vol ۵۷; ۱ -۷
- T. Reshma; P.Sundara, Kumar; M.J. Ratna; Kanth, Babu and K. Sundara Kumar ۲۰۱۰. Simulation of runoff in watersheds using SCS – CN Muskingum – Gunge method's using Remote Sensing and Geographical Information Systems, *International Journal of Advanced Science and Technology* , Vol ۲۵; ۳۱ -۴۲.
- Zhan, X and Huang, M.L. ۲۰۰۴. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps, *Environmental Modelling & Software*; Vol ۱۹; ۸۷۵ -۸۷۹.