

تحلیل هیدروژئومورفولوژی واحدهای پاسخ هیدرولوژی (HRU) در حوضه‌ی آبخیز قره‌سو اردبیل

علی احمدآبادی*، استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

امیر کرم، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

محسن پوربشیر هیر، دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

چکیده

نقشه‌های پتانسیل تولید رواناب در مطالعات هیدروژئومورفولوژی دارای کاربردهای مختلفی شامل شناسایی قابلیت سیل‌خیزی، تولید رسوب و شرایط غالب فرسایشی است. غالباً حوضه‌های آبریز فرعی، به‌عنوان واحد مطالعاتی برای این منظور به‌کار گرفته شده است؛ اما زیرحوضه‌ها شرایط همگونی از نظر پوشش گیاهی و شرایط توپوگرافی برای محاسبه قابلیت تولید رواناب ندارد. در این تحقیق، با یک رویکرد جدید، واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU) به‌عنوان واحد کاری معرفی گردیده و برای حوضه‌ی آبریز قره‌سو شناسایی و استخراج شده است. هم‌چنین قابلیت تولید رواناب برای هر واحد به‌طور جداگانه محاسبه شده است. قابلیت تولید رواناب با استفاده از روش سرویس حفاظت خاک (SCS) انجام گرفته است. نتایج تحقیق ۱۶ واحد پاسخ هیدرولوژیک را برای حوضه‌ی آبریز قره‌سو نشان می‌دهد که هر واحد دارای شرایط همگون ژئومورفولوژی، توپوگرافی و پوشش گیاهی است. هم‌چنین هشت واحد پاسخ هیدرولوژیک به دلیل پتانسیل بالای تولید رواناب، دارای فرآیندهای غالب کاوشی آب و پدیده‌ی آب‌شستگی تشخیص داده شد که در این بین، نوع کاربری زمین نقش به‌سزایی دارد. به نظر می‌رسد استفاده از واحد پاسخ هیدرولوژیک، به‌عنوان یک واحد کاری در شناسایی دقیق‌تر قابلیت تولید رواناب و شرایط فرسایش حوضه مؤثر بوده است.

واژه‌های کلیدی

واحد پاسخ هیدرولوژیک، روش سرویس حفاظت خاک، قابلیت تولید رواناب، آب‌شستگی، حوضه‌ی آبخیز قره‌سو.

مقدمه

دریافت حدود یک سوم بارش متوسط خشکی‌های جهان و عوامل هیدروکلیماتولوژی حاکم بر کشور ایران (ارتفاع متوسط بارندگی ایران در حدود ۲۸۰ میلی‌متر و متوسط بارندگی سالانه سطح کره زمین بالغ بر ۸۶۰ میلی‌متر است) سبب شده است که این منطقه جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به حساب آید. نگاه اجمالی به وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی کشورمان نشان می‌دهد که مصارف کنونی کشور، بیش از میزان موجود آن است. با توجه به ارتباط قوی بین عوامل هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در حوضه‌های آبریز، لزوم یافتن واحدهای مطالعاتی مناسب در این حوضه‌ها برای هیدروژئومورفولوژیست‌ها همواره موردنظر صاحب‌نظران در این زمینه بوده است. حوضه‌های آبریز به‌عنوان یکی از محدوده‌های مطالعاتی در هیدروژئومورفولوژی همواره موردتوجه هیدروژئومورفولوژیست‌ها بوده و هست. با توجه به این‌که موضوع علم هیدروژئومورفولوژی مطالعه‌ی فرم‌های شکل زمین^۱ که تحت تأثیر فرآیندهای آبی به‌عنوان عوامل تغییر شکل‌دهنده‌ی آن‌ها و رابطه‌ی آن دو باهم است، از این نظر حوضه‌های آبریز به‌عنوان بهشت مطالعات هیدروژئومورفولوژی و ژئومورفولوژی جلوه می‌نماید؛ چراکه آگاهی از نحوه‌ی واکنش هیدرولوژیکی حوضه در برابر مشخصات بارش تابعی از خصوصیات و رفتار ژئومورفولوژیکی آن باشد، به‌طوری‌که این شرایط تابع خصوصیات سطح زمین و شیب، کاربری و پوشش زمین و ویژگی آبراهه‌ها است. چنان‌چه یکی از اقدامات ژئومورفولوژیست‌ها، تلاش در جهت یافتن یک ارتباط قوی بین پاسخ هیدرولوژیکی حوضه با ساختار فیزیکی آن و استفاده از این ارتباط با اهداف مختلف در تحقیقات بوده است.

امروزه حوضه‌های آبریز به‌عنوان یکی از مقیاس‌های مطالعاتی در ژئومورفولوژی موردتوجه ژئومورفولوژیست‌ها است. تا مدت‌های مدیدی در مطالعه‌ی حوضه‌های آبریز توسط ژئومورفولوژیست‌ها از روش‌های مرسوم در هیدرولوژی برای اهداف ژئومورفولوژیستی استفاده می‌شد؛ یعنی اقدام به تقسیم‌بندی حوضه به زیر حوضه‌های متعدد به‌عنوان واحدهای مطالعاتی و سپس مطالعه روی آن‌ها می‌شد که به نظر می‌رسد این روش نمی‌تواند گویای ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوضه‌های آبریز باشد، چون بیش‌تر با اهداف هیدرولوژی استخراج می‌شوند؛ بنابراین نکته قابل‌توجه در این زمینه، لزوم یافتن واحدهای همگن در مطالعات ژئومورفولوژی است تا با شرایط همگنی که دارند امکان مطالعه‌ی آسان‌تر و با قابلیت تمرکز بیش‌تر را فراهم آورند؛ نکته‌ای که زیرحوضه، امکان ارائه‌ی این‌گونه شرایطی را برای اهداف ژئومورفولوژیستی ندارند؛ بنابراین یافتن واحدهایی همگن از لحاظ پارامترهای ژئومورفولوژی که بیانگر شرایطی واحد جهت تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی چه‌بسا هیدرولوژیکی باشند، حائز اهمیت ویژه‌ای است. در این زمینه واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU)^۲ که درواقع معرف واحدهای همگن ژئومورفولوژیکی می‌باشند، به‌صورت رویکردی تازه به‌عنوان کوچک‌ترین سطح در مطالعه‌ی حوضه‌های آبریز در ژئومورفولوژی می‌توانند مطرح گردند. این واحدها می‌توانند نشان‌دهنده‌ی نوع غالبی از فرآیندها یا لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی در خود باشند که نوع خاصی از پاسخ هیدرولوژیک حوضه‌ها را نیز نشان دهند و ارتباط بین پارامترهای هیدرولوژی و ژئومورفولوژی را بیان کنند و به‌عنوان ابزاری برای شناخت پایه‌ای حوضه‌های آبریز و تحلیل‌های هیدروژئومورفولوژیک بعدی، مورداستفاده واقع شود. این روش ضمن این‌که رفتارهای هیدرولوژیکی حوضه و تأثیرات ژئومورفولوژیکی ناشی از آن‌ها را به‌خوبی به تصویر می‌کشد، روشی سریع و

1- Landform

2- Hydrological Response Unit

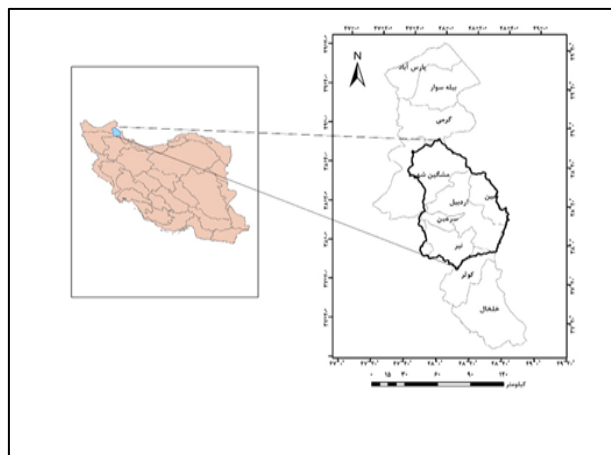
کم‌هزینه و قابل بسط و توسعه برای اهداف مطالعاتی مختلف در زمینه‌ی مدیریت منابع و عملیات آبخیزداری و شناسایی قابلیت‌های طبیعی حوضه‌های آبریز و اجرای برنامه‌های مدیریتی متناسب با آن است تا میزان موفقیت عملیات مدیریتی حوضه‌های آبریز را افزایش دهد.

علاوه بر این، در مطالعات مربوط به حوضه‌های آبریز لزوم استفاده از روش‌های جدید مطالعاتی که باعث صرفه‌جویی در زمان، هزینه و نیروی انسانی شود و از طرف دیگر نبود ایستگاه‌های هیدرومتری کافی در حوضه‌های آبریز به دلایل مختلف از جمله نبود ارگان‌های منسجم برای ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یا شرایط نامناسب جهت استقرار ایستگاه‌ها و غیره، برای اخذ داده‌ها و اطلاعات مربوط به پارامترهای هیدرولوژیکی مانند رسوب و رواناب باعث ایجاد روش‌های تازه در این زمینه شده است که در قالب مدل‌های ریاضی پیشرفت کرده و توسعه یافته‌اند. استفاده از این مدل‌ها در رسیدن به اهداف، نقش به‌سزایی دارد و باعث تسریع در کارها می‌شود. تاکنون تحقیقات زیادی در مورد استفاده از روش SCS با اهداف مختلف مثل تأثیر خاک بر رواناب، فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۶)، تأثیر پوشش زمین بر رواناب، عبدلی و قریشی‌راد (۱۳۸۴) و حسینی و همکاران (۱۳۸۴)، اثر شیب بر رواناب، رئیس‌یان (۱۳۸۴)، اثر پوشش زمین بر مهار رواناب، بیات و نیکنامی (۱۳۸۶) و نوری و همکاران (۱۳۸۶)، انجام گردیده است. همچنین تحقیقی در مورد کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در برآورد رواناب به روش SCS توسط دروگتون^۳ و همکاران (۱۹۹۲) انجام گرفته است.

در این تحقیق، به‌منظور مطالعه‌ی هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌ی آبریز قره‌سو اردبیل با توجه به اجتماعات بزرگ انسانی و کاربری غالب کشاورزی آن به‌عنوان یکی از حوضه‌های مهم شمال غرب کشور، با استفاده از مدل SCS به برآورد ویژگی‌های هیدرولوژیک حوضه‌ی در سطح واحدهای پاسخ هیدرولوژیک استخراجی، پرداخته خواهد شد تا سیمایی از وضعیت رواناب و پتانسیل وجود فرآیند کاوشی آب و آب‌شستگی در این واحدها به دست آید.

منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز قره‌سو اردبیل در تقسیم‌بندی‌های کلی هیدرولوژی ایران در محدوده‌ی حوضه‌ی دریای خزر و در تقسیمات جامع آب کشور زیرحوضه‌ی چهارم از حوضه‌ی اول منطقه‌ی دوم مطالعاتی است که با کد ۴-۱-۲ مشخص گردیده است (گزارش توجیهی سازمان آبخیزداری کشور، ۱۳۷۶). حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی قره‌سو واقع در محدوده‌ی شهرستان‌های اردبیل، نمین و نیر است که جزو مجموعه حوضه‌های رودخانه ارس است. شهر اردبیل مرکز استان اردبیل تقریباً در مرکز حوضه‌ی مورد مطالعه واقع شده است و مساحت حوضه بالغ بر ۶۵۵۲۰۵ هکتار است.



شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی مورد مطالعه

مختصات محدوده‌ی جغرافیایی حوضه‌ی مورد مطالعه به صورت زیر است (گزارش توجیهی سازمان آبخیزداری کشور، ۱۳۷۶):

طول جغرافیایی از ۴۷ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۸ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۴۲ دقیقه و ۱۱ ثانیه.

عرض جغرافیایی از ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ۵۲ ثانیه.

محدوده‌ی طبیعی حوضه هم به صورت زیر است:

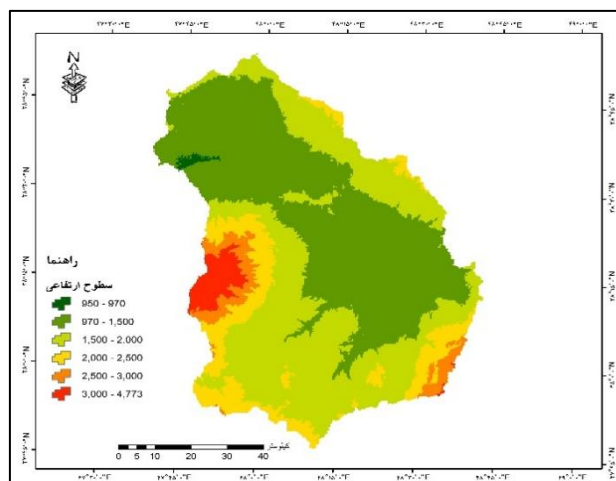
شمال حوضه محدود به زیرحوضه‌ی پارس‌آباد (مغان) که یکی دیگر از زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبخیز ارس است. شرق حوضه محدود به رشته‌کوه‌های تالش است. جنوب حوضه به رشته‌کوه‌های بزغوش محدود می‌شود که حوضه‌ی آبخیز قره‌سو را از حوضه‌ی آبخیز قزل‌اوزن در داخل استان جدا می‌کند. غرب حوضه سلسله کوهستان‌های مرتفع سبلان (ساوالان) است که مرتفع‌ترین و پرشیب‌ترین بخش حوضه نیز است.

مواد و روش‌ها

واحدهای پاسخ هیدرولوژیک از تلفیق لایه‌های سطحی مربوط به پارامترها به دست می‌آید. بدین منظور ابتدا اقدام به جمع‌آوری لایه‌های سطحی، شامل داده‌های زیر شد و سپس به کلاس‌بندی^۴ هر یک از لایه‌ها برای آماده‌سازی جهت استخراج واحدهای پاسخ هیدرولوژیک اقدام گردید:

مدل رقومی ارتفاعی حوضه

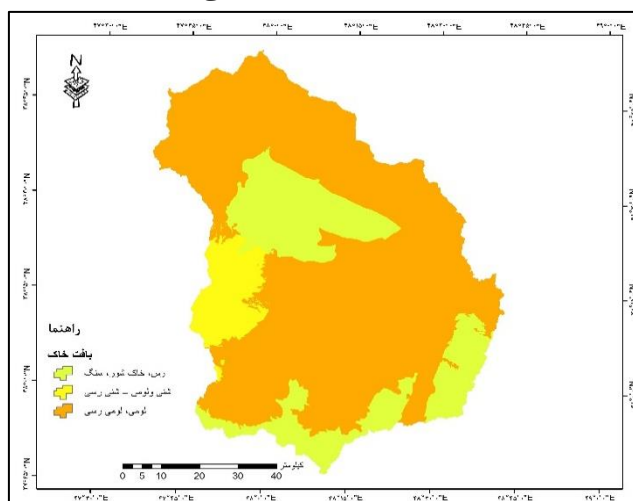
برای تحلیل‌های توپوگرافی تحقیق از مدل رقومی ارتفاع ASTERGDEM با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شده است. شکل ۲ سطوح ارتفاعی حوضه‌ی آبریز قره‌سو را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نقشه‌ی کلاس‌های ارتفاعی برای استخراج HRUs

لایه خاک حوضه

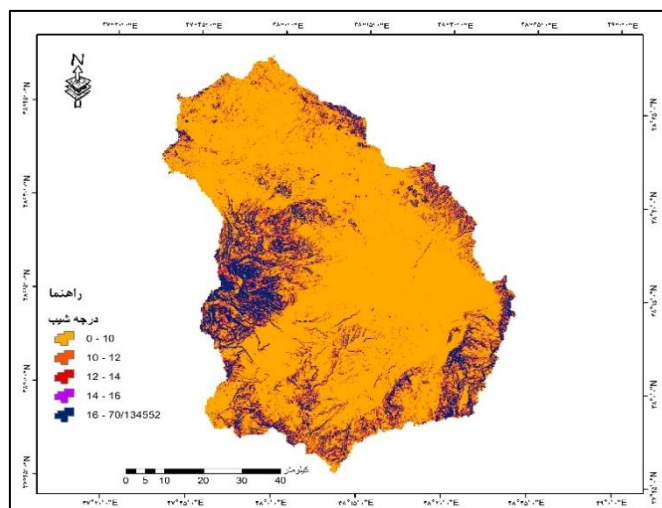
با توجه به نوع بافت خاک منطقه، تعداد ۳ طبقه خاک شناسایی شد که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نقشه‌ی کلاس‌های خاک منطقه جهت استخراج HRUs

لایه شیب حوضه

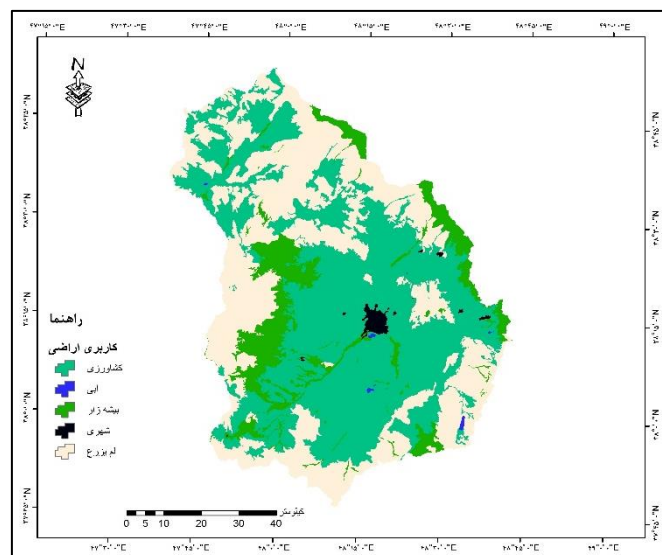
لایه‌ی شیب حوضه از روی نقشه‌ی DEM حوضه تهیه شد که با توجه به ماهیت دشتی بودن، مساحت اعظمی از حوضه در شیب کم واقع شده که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۴: نقشه‌ی کلاس‌های شیب حوزه برای استخراج HRUs

کاربری حوزه

۵ طبقه کاربری در حوزه وجود دارد که در شکل ۵ ارائه گردیده است.



شکل ۵: نقشه‌ی انواع کلاس‌های کاربری حوزه برای استخراج HRUs

بعد از آماده شدن لایه‌ها و کلاس‌های هریک از آن‌ها در محیط نرم‌افزار Arc Map و به کمک ابزار مدل‌ساز Raster Calculator اقدام به تلفیق آن‌ها گردید تا واحدهای پاسخ هیدرولوژیک استخراج گردد. در مرحله‌ی بعد با استفاده از مقادیر بارش ماهانه ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه، مقادیر متوسط بارش ماهانه برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیک از طریق عملیات درون‌یابی در محیط نرم‌افزار Arc Map محاسبه گردید و با انتقال آن به رابطه‌ی ۱، ارتفاع رواناب حاصل از بارش‌ها برای هر واحد محاسبه شد تا تحلیل‌های بعدی امکان‌پذیر گردد.

واحد پاسخ هیدرولوژیک (HRU)

واحد پاسخ هیدرولوژیک به‌عنوان یک مفهوم توسط فلوگل^۵ در سال ۱۹۹۵ مطرح شد (Sanzana et al, 2013: 32). این واحدها، بخش‌هایی از حوزه‌های آبریز هستند که دارای کاربری زمین، اطلاعات خاک و شیب

و غیره یکسان‌اند که از هم‌پوشانی لایه‌های چند ضلعی^۶ ایجاد می‌شوند (فلوجل، ۱۹۹۵: ۳۲) و اطلاعاتی مثل کاربری‌های زمین، انواع خاک، زیرحوضه‌ها و زمین‌شناسی را به دست می‌دهند. لایه‌های خطی اعم از عناصر طبیعی یا مصنوعی حوضه‌ی زهکشی می‌تواند با یک HRU تلفیق شود (Sabourin, 1996: 43; Stolte and Kamp 1997: 198). در نتیجه شبکه‌های هیدرولوژیکی از سطوحی چندضلعی با اشکال نامنظم هندسی شکل می‌گیرد که برای نمایش پدیده‌های "انسان‌ساخت" که حاکی از تأثیرات مهم فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز است، مناسب است (Lagacherie, 2010: 1029). از طرفی با ارائه‌ی ویژگی‌های مختلف یک واحد، کاربر می‌تواند با مطالعه‌ی ویژگی هر واحد با توجه به نوع کاربری، خاک و ویژگی‌های توپوگرافی مثل شیب واحد مناسب هدف خود را انتخاب کند. به‌طور کلی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک شناختی کلی از یک ناحیه از حوضه را برای کاربر می‌تواند ارائه دهد. به نظر می‌آید در ایران تاکنون تحقیقاتی که در آن‌ها به‌طور مستقیم به استخراج و مطالعه‌ی واحدهای پاسخ هیدرولوژیک پرداخته باشند، گزارش نشده است؛ اما در تحقیقات مختلفی از مدل‌هایی که اساس کار آن‌ها بر این واحدها استوار است و حوضه را به واحدهای پاسخ هیدرولوژیک تقسیم‌بندی می‌کنند، استفاده گردیده است که از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل SWAT اشاره نمود؛ مثلاً در تحقیقی عارفی اصل و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل SWAT برای حوضه‌ی چهل‌چای استان گلستان باهدف تعیین مناطق بحرانی تولید رسوب، برای این حوضه تعداد ۳۳۴ واحد را از تلفیق لایه‌های خاک، کاربری اراضی و شیب به دست آوردند. همچنین تایببه^۷ و همکاران (۲۰۱۰) نیز با کاربرد مدل SWAT، حوضه را به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم‌بندی کرده و به برآورد رواناب سطحی پرداختند و بیان کردند که تولید رواناب سطحی به‌طور عموم در واحدهایی از حوضه که دارای خاک رسی سنگین با ظرفیت نفوذ پایین، اراضی کشاورزی و شیب بیش از ۲۵ درصد هستند، بالا بوده است.

روش SCS

به‌منظور برآورد میزان رواناب ناشی از بارندگی‌ها چه از نظر حجم رواناب و چه از نظر شدت جریان در بازه‌های زمانی مختلف، روش‌های زیادی وجود دارد. از جمله روش‌های معمول در هیدرولوژی روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است که به دنبال مطالعات شرمن (۱۹۴۹) در مورد ارائه‌ی هیدروگراف واحد از رابطه‌ی بارندگی و رواناب. توسط سازمان مذکور ارائه شده است (محمدی و پناهی، ۱۳۸۵: ۱۱۰). در این روش ارتفاع رواناب حاصله از یک بارندگی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

R = ارتفاع رواناب بر حسب میلی‌متر

p = ارتفاع بارندگی بر حسب میلی‌متر

s = عامل نگهداشت رطوبت خاک که مقدار آن برابر است با رابطه‌ی زیر^۸:

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

6- Polygon

7- Tibebe

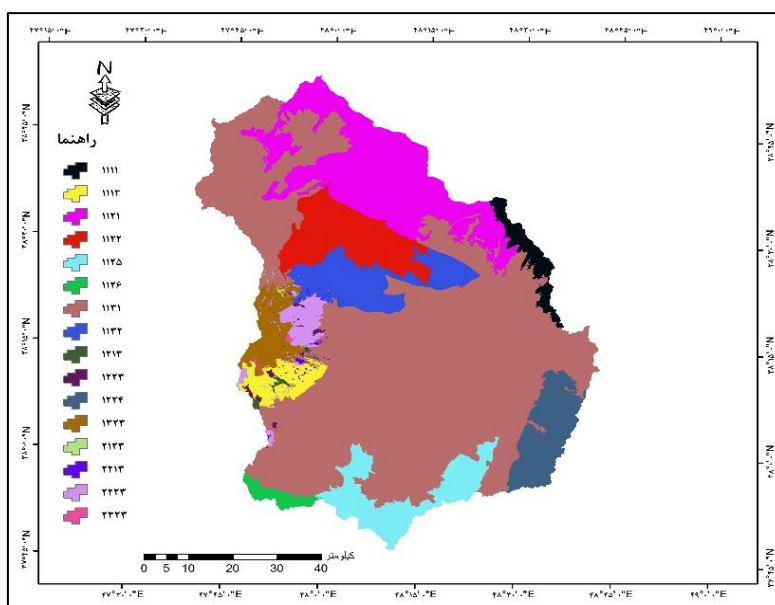
۸- این مقدار به میلی‌متر است و در صورت محاسبه‌ی آن به سانتی‌متر رابطه‌ی ۲ به‌صورت زیر خواهد بود:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25/4$$

در این معادله CN شماره‌ی منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه است. مقدار CN بین صفر و 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. این شاخص به عواملی همچون گروه هیدرولوژیکی خاک، پوشش گیاهی، نوع کاربری و بافت خاک بر اساس راهنمای ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا به دست می‌آید که ابتدا بر اساس بافت خاک گروه هیدرولوژیکی خاک تعیین و سپس بر اساس جدول مربوط با تطبیق نوع کاربری و گروه هیدرولوژیکی، شماره‌ی منحنی CN به دست می‌آید.^۹

بحث و نتایج

استخراج واحدهای پاسخ هیدرولوژیک حوضه‌ی آبریز قره‌سو در قالب ساختار داده رستری انجام شده است. نتایج تحقیق تعداد ۱۶ HRU را نشان می‌دهد (شکل ۶). به‌طوری‌که تنوع بیش‌تر HRU در نیمه‌ی شمالی و غربی حوضه‌ی آبریز دیده می‌شود که علت آن تنوع شیب و کاربری اراضی در این بخش حوضه است.



شکل ۶: واحدهای پاسخ هیدرولوژی حوضه

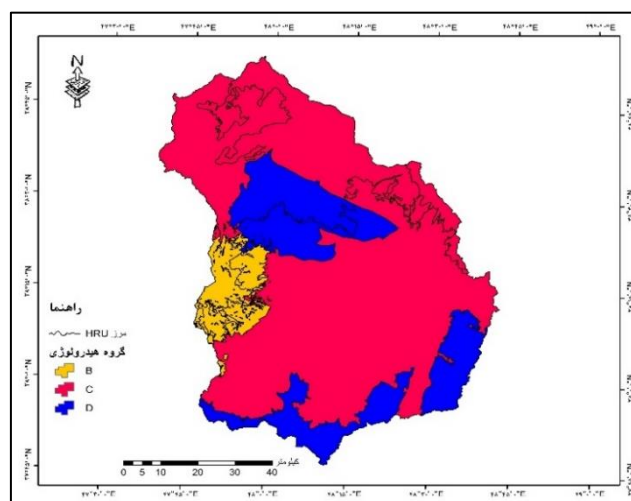
ویژگی‌های واحدهای پاسخ هیدرولوژیک در جدول ۱ ارائه شده است. این ویژگی‌های شامل ارتفاع، شیب، بافت خاک و مساحت هر HRU است.

۹- برای دسترسی به جداول مذکور مراجعه شود به کتاب اصول هیدرولوژی کاربردی نوشته‌ی امین علیزاده چاپ سی و سوم، ۱۳۹۰ صفحه ۵۲۵-۵۲۶.

جدول ۱: اطلاعات هر یک از کلاس‌های واحدهای پاسخ هیدرولوژیک

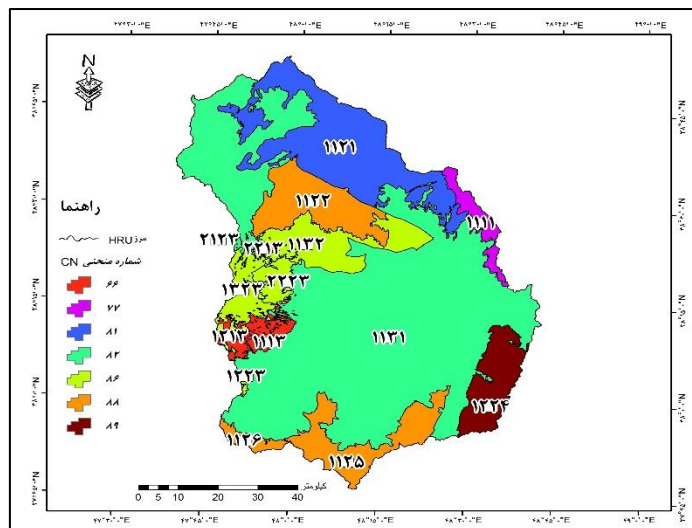
کد HRU	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	کاربری	بافت خاک	کلاس شیب	کلاس ارتفاعی
۱۱۱۱	۱۱۶۵۸۹۶۰۰	۱/۷۱	بیشه زار فقیر	لومی، لومی رسی	۲۰-۰	۲۲۳۰-۹۵۰
۱۱۱۳	۱۲۷۲۷۴۴۰۰	۱/۸۷	بیشه زار فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۲۰-۰	۲۲۳۰-۹۵۰
۱۱۲۱	۹۴۶۷۳۱۶۰۰	۱۳/۹۴	مرتع فقیر	لومی، لومی رسی	۲۰-۰	۲۲۳۰-۹۵۰
۱۱۲۲	۴۱۱۹۱۹۲۰۰	۶/۰۶	مرتع فقیر	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۲۰-۰	۲۲۳۰-۹۵۰
۱۱۲۵	۳۵۴۳۵۸۸۰۰	۵/۲۱	مرتع فقیر	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۲۰-۰	۲۲۳۰-۹۵۰
۱۱۲۶	۵۷۳۲۲۸۰۰	۰/۸۴	مرتع فقیر	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۲۰-۰	۲۲۳۰-۹۵۰
۱۱۳۱	۳۸۰۱۶۱۰۸۰۰	۵۵/۹۹	مزارع شخصی	لومی، لومی رسی	۲۰-۰	۲۲۳۰-۹۵۰
۱۱۳۲	۳۵۹۷۹۸۴۰۰	۵/۲۹	مزارع شخصی	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۲۰-۰	۲۲۳۰-۹۵۰
۱۲۱۳	۱۲۵۹۲۸۰۰	۰/۱۸	بیشه زار فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۲۰-۰	۳۵۰۰-۲۲۳۰
۱۲۲۳	۱۵۱۹۵۶۰۰	۰/۲۲	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۲۰-۰	۳۵۰۰-۲۲۳۰
۱۲۲۴	۲۹۰۱۲۷۶۰۰	۴/۲۷	مرتع فقیر	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۲۰-۰	۳۵۰۰-۲۲۳۰
۱۳۲۳	۱۶۹۴۸۰۸۰۰	۲/۴۹	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۲۰-۰	۴۷۸۲-۳۵۰۰
۲۱۲۳	۲۸۰۸۰۰۰	۰/۰۴	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۴۰-۲۰	۳۵۰۰-۲۲۳۰
۲۲۱۳	۸۰۲۴۴۰۰	۰/۱۱	بیشه زار فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۴۰-۲۰	۳۵۰۰-۲۲۳۰
۲۲۲۳	۱۱۰۷۵۰۴۰۰	۱/۶۳	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۴۰-۲۰	۳۵۰۰-۲۲۳۰
۳۳۲۳	۴۳۷۷۶۰۰	۰/۰۶	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۴۰-۲۰	۴۷۸۲-۳۵۰۰

با استخراج واحدهای پاسخ هیدرولوژیک به‌عنوان پایه‌ی واحد مطالعاتی، در مرحله‌ی بعد برای استفاده از روش SCS، از روی انواع بافت خاک حوضه، ابتدا اقدام به تعیین گروه‌های هیدرولوژیک حوضه گردید که در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژی خاک حوضه

بعد از تعیین گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضه، با انطباق گروه هیدرولوژیک و کاربری و با لحاظ کردن شرایط رطوبت اولیه‌ی خاک در حالت متوسط (حالت دوم) ^{۱۰} منحنی CN حوضه برای واحدهای پاسخ هیدرولوژیک استخراج و سپس نقشه آن ترسیم گردید (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه‌ی منحنی CN واحدهای پاسخ هیدرولوژیک حوضه

جدول ۳: منحنی CN با توجه به نوع کاربری و گروه هیدرولوژیکی خاک هر HRU

کد HRU	کاربری	گروه هیدرولوژیک خاک	CN
۱۱۱۱	بیشه زار فقیر	C	۷۷
۱۱۱۳	بیشه زار فقیر	B	۶۶
۱۱۲۱	مرتع فقیر	C	۸۱
۱۱۲۲	مرتع فقیر	D	۸۸
۱۱۲۵	مرتع فقیر	D	۸۸
۱۱۲۶	مرتع فقیر	D	۸۸
۱۱۳۱	مزارع شخصی	C	۸۲
۱۱۳۲	مزارع شخصی	D	۸۶
۱۲۱۳	بیشه زار فقیر	B	۶۶
۱۲۲۳	مرتع فقیر	B	۸۶
۱۲۲۴	مرتع فقیر	D	۸۹
۱۳۲۳	مرتع فقیر	B	۸۶
۲۱۲۳	مرتع فقیر	B	۸۶
۲۲۱۳	بیشه زار فقیر	B	۶۶
۲۲۲۳	مرتع فقیر	B	۸۶
۳۳۲۳	مرتع فقیر	B	۸۶

۱۰- در این روش شماره‌ی منحنی (CN)، تغییرات ضریب نگهداشت رطوبت (S) در رابطه با وضعیت رطوبت اولیه خاک، بررسی شده و سه حالت مختلف در نظر گرفته شده است. در حالت اول خاک، رطوبت کم و در حالت دوم، رطوبت متوسط و در حالت سوم، خاک تقریباً اشباع است که وضعیت وقوع یا عدم وقوع بارندگی قبل از بارش موردنظر را که برای محاسبه در نظر گرفته شده استف بیان می‌کند که در محاسبه‌ی شماره‌ی منحنی باید این حالات در نظر گرفته شود و مقدار آن تصحیح گردد. برای اطلاعات بیشتر و جدول مقادیر تصحیح، رجوع شود به کتاب اصول هیدرولوژی کاربردی نوشته‌ی امین علیزاده چاپ سی و سوم صفحه‌ی ۵۲۶.

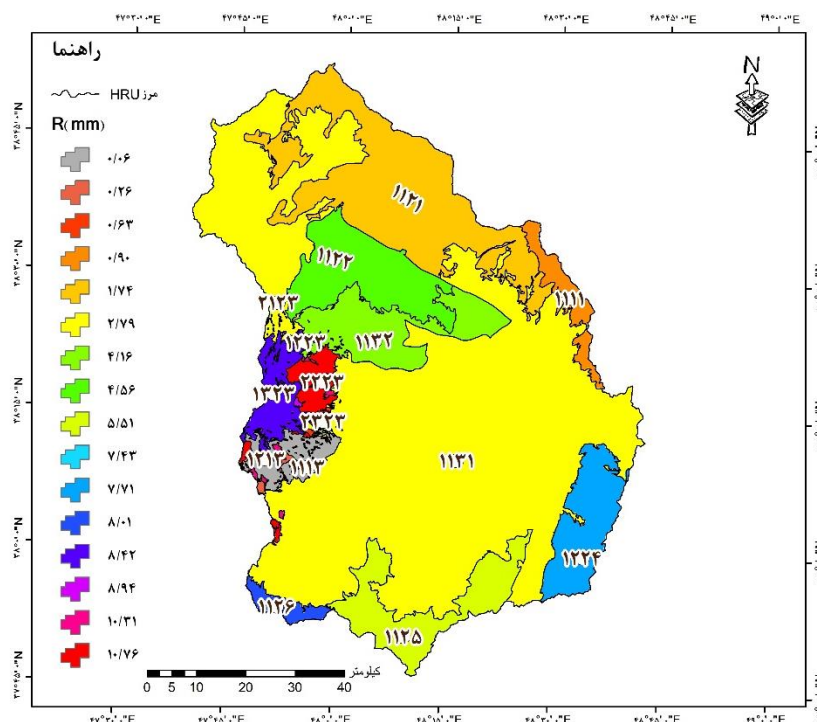
نقشه‌ی CN درواقع میزان نفوذپذیری خاک حوضه را نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود بیشترین مقدار CN در بخش جنوب شرقی حوضه است که مختص واحد پاسخ هیدرولوژیکی با کد ۱۲۲۴ به میزان ۸۹ است که نشان‌دهنده‌ی تولید بیشترین رواناب در بین واحدهای پاسخ هیدرولوژیک است که دارای گروه هیدرولوژیکی D (با بافت رس، خاک‌های شور و سنگ) و کاربری مرتع فقیر است و در دیگر واحدها با مقادیر CN بالا تأثیر گروه هیدرولوژیکی خاک کاملاً مشهود است؛ به‌طوری‌که این واحدها دارای گروه هیدرولوژیکی خاک D می‌باشند که شامل بافت ریز و باقابلیت نفوذ خیلی کم مشخص می‌شوند. در مقابل، گروه هیدرولوژیکی B و کاربری بیشه‌زار (جنگلی)، باعث شده تا کمترین میزان CN به دست آید که در شرق حوضه در دامنه‌های کوه سبلان قرار گرفته است که پوشش سنگی این ناحیه هم در این مورد تأثیرگذار بوده است. هم‌چنین میزان متوسط CN در مرکز حوضه که ماهیت دشتی دارد، به دست آمده است که بیش‌تر با کاربری زراعت شخصی نمایان است و میزان نفوذپذیری این بخش نسبت به بخش‌های دیگر حوضه در مقدار متوسطی قرار دارد. گفتنی است که این میزان CN که برابر با ۸۲ است به‌تنهایی بخش وسیعی از حوضه را در برمی‌گیرد.

بعد از تهیه‌ی نقشه‌ی CN در این مرحله، از طریق رابطه شماره‌ی ۲ و مقادیر CN به‌دست‌آمده برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیک (جدول ۳)، مقدار توان نگهداشت رطوبت خاک (S)، برای هر واحد محاسبه گردید^{۱۱} (جدول ۴).

بعد از تعیین مقادیر CN و S، برای محاسبه‌ی میزان رواناب تولیدی در حوضه طبق رابطه‌ی ۱، مقادیر متوسط ماهیانه بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی هیدرومتری حوضه برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیک از طریق عملیات درونیابی در محیط نرم‌افزار Arc Map محاسبه گردید و با انتقال آن به رابطه ۱، ارتفاع رواناب حاصل از بارش‌ها برای هر واحد محاسبه شد که در شکل ۹ نشان داده شده است و اطلاعات تکمیلی آن در جدول ۴ آورده شده است.

۱۱- این مقدار به میلی‌متر است و در صورت محاسبه‌ی آن به سانتی‌متر رابطه‌ی ۴-۱ به‌صورت زیر خواهد بود:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25/4$$



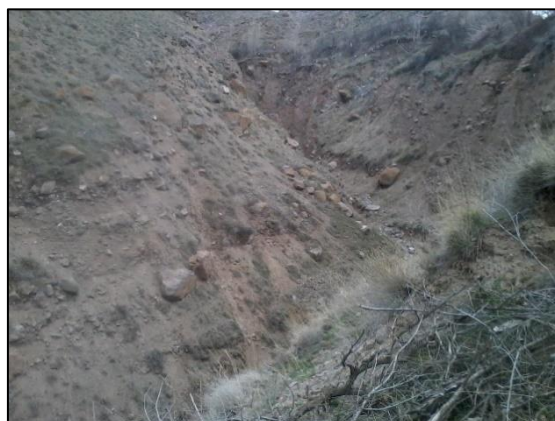
شکل ۹: نقشه‌ی مقادیر رواناب به‌دست‌آمده از روش SCS

جدول ۴: اطلاعات پارامترهای روش SCS و واحدهای پاسخ هیدرولوژیک

کد HRU	کاربری	بافت خاک	CN	S (mm)	R (mm)	پتانسیل وجود فرآیندهای فرسایش آبی (آب شستگی)
۱۱۱۱	بیشه زار فقیر	لومی، لومی رسی	۷۷	75/87	0/9	خیلی کم
۱۱۱۳	بیشه زار فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۶۶	130/84	0/06	خیلی کم
۱۱۲۱	مرتع فقیر	لومی، لومی رسی	۸۱	59/58	1/74	خیلی کم
۱۱۲۲	مرتع فقیر	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۸۸	34/63	4/56	کم
۱۱۲۵	مرتع فقیر	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۸۸	34/63	5/51	زیاد
۱۱۲۶	مرتع فقیر	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۸۸	34/63	8/01	خیلی زیاد
۱۱۳۱	مزارع شخصی	لومی، لومی رسی	۸۲	55/75	2/7	کم
۱۱۳۲	مزارع شخصی	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۸۶	41/34	4/16	کم
۱۲۱۳	بیشه زار فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۶۶	130/84	0/26	خیلی کم
۱۲۲۳	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۸۶	41/34	10/31	خیلی زیاد
۱۲۲۴	مرتع فقیر	رس، خاک شور، سنگ، جاده آسفالت	۸۹	31/39	7/71	زیاد
۱۳۲۳	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۸۶	41/34	8/42	خیلی زیاد
۲۱۲۳	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۸۶	41/34	7/43	زیاد
۲۲۱۳	بیشه زار فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۶۶	130/84	0/63	خیلی کم
۲۲۲۳	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۸۶	41/34	10/76	خیلی زیاد
۳۳۲۳	مرتع فقیر	شنی و لومی، شنی رسی	۸۶	41/34	8/94	خیلی زیاد

با توجه به نقشه‌ی پتانسیل تولید رواناب (شکل ۹) و جدول ۴ بیش‌ترین رواناب محاسبه‌شده با روش SCS مربوط به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی با کاربری مرتعی و بافت شنی و شنی رسی است که به دلیل بافت ریزدانه، عملاً میزان نفوذ خیلی کم و مقادیر نگهداشت رطوبت (S) کم‌تری را نیز به خود اختصاص داده است. در مقابل، کم‌ترین مقدار رواناب مربوط به کاربری‌های جنگلی است؛ اما بافت خاک آن همانند بافت واحدهایی است که بیش‌ترین تولید رواناب را داشته‌اند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این حوضه، عامل کاربری یا همان پوشش زمین نسبت به نوع خاک، تأثیر بیش‌تری در تولید رواناب داشته است؛ یعنی کاربری‌های جنگلی با دارا بودن پوشش گیاهی مناسب، تأثیر مثبتی در میزان نفوذ آب به خاک داشته و باعث کاهش میزان تولید رواناب در حوضه گردیده است؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان نفوذ آب به خاک نیز مربوط به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی با همین کاربری بوده است.

با توجه به این‌که فرآیندهای فرسایش آبی در مناطقی که با تولید رواناب زیاد همراه است، زیاد به چشم می‌خورند می‌توان از میزان رواناب محاسبه‌شده با روش SCS پراکندگی این فرآیندها را در بخش‌های مختلف حوضه در قالب واحدهای پاسخ هیدرولوژیک تشریح کرد که در جدول فوق نیز آورده شده است. شکل زیر نمونه‌ای از فرسایش کاوشی آب را در واحد پاسخ هیدرولوژی با کد ۲۲۲۳ واقع در کوه‌های اطراف روستای سپیدلر دهستان سردابه که بیش‌ترین تولید رواناب در حوضه را دارد، نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: تصویری از عمل آب‌شستگی در حوضه‌ی قره‌سو

نتیجه‌گیری

واحد مطالعاتی تحقیق به‌خصوص در مطالعات رواناب و رسوب تأثیر به‌سزایی در نتایج تحقیق خواهد داشت. در بین محققین ژئومورفولوژی و سایر محققین علوم زمین حوضه‌ی آبریز به‌عنوان اصلی‌ترین واحد مطالعاتی شناخته می‌شود که واحد مطالعاتی طبیعی و مناسب به نظر می‌رسد؛ اما در مطالعات رواناب و رسوب نیاز است داخل حوضه‌ی آبریز نیز به واحدهای فرعی مشخص و همگنی تقسیم گردد تا در هر واحد شرایط عوامل اثرگذار بر فرسایش یا میزان رواناب موردبررسی قرار گیرد. به نظر می‌رسد حوضه‌ی آبریز فرعی برای این منظور مناسب نباشد؛ زیرا در حوضه‌ی آبریز فرعی ممکن است شرایط شیب، لیتولوژی، پوشش گیاهی و ... همگنی وجود نداشته باشد، به همین علت نتایج واقعی از شرایط تولید رسوب و رواناب به دست نیاید. در این تحقیق، واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRU) به‌عنوان کوچک‌ترین واحد مطالعاتی، معرفی گردیده و برای برآورد نقشه‌ی پتانسیل تولید رواناب به کار گرفته شد. در این تحقیق، واحد پاسخ هیدرولوژیک پهنه‌ای است که از نظر شرایط توپوگرافی بخصوص شیب زمین، نوع و میزان پوشش گیاهی و نوع خاک همگن بوده و بنابراین دارای رفتار مشابه در فرآیند

تولید رواناب است. بدین منظور واحدهای پاسخ هیدرولوژیک برای حوضه‌ی آبریز قره‌سو استخراج گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تعداد ۱۶ واحد پاسخ هیدرولوژیک برای حوضه‌ی آبریز قره‌سو استخراج شده است که هر واحد دارای شرایط همگن ژئومورفولوژی، توپوگرافی و پوشش گیاهی است؛ و هشت واحد پاسخ هیدرولوژیک به دلیل پتانسیل زیاد و خیلی زیاد تولید رواناب، دارای فرآیندهای غالب کاوشی آب و پدیده‌ی آب‌شستگی تشخیص داده شد که در این بین، نوع کاربری زمین نقش به‌سزایی دارد. نتایج نشان می‌دهد که پراکنش واحدهای پاسخ هیدرولوژیک با کم‌ترین میزان تولید رواناب در شرق و غرب حوضه است که در غرب حوضه شامل جنگل‌های نواحی عنبران در مرز کشور جمهوری آذربایجان با استان و در شرق حوضه نیز شامل دامنه‌های سرسبز سبلان است که به دلیل برخورداری از رودهای دائمی پوشش گیاهی نسبتاً مناسبی دارد. از طرفی واحدهایی که بیش‌ترین پتانسیل تولید رواناب را به خود اختصاص داده‌اند، نیز در دامنه‌های سبلان با پوشش گیاهی ضعیف (مرتفع فقیر)، تظاهر می‌یابند که پوشش گیاهی تنک باعث کم شدن میزان نفوذ بارش در زمین شده و شیب زیاد نیز باعث تقویت این حالت گردیده است و در کل تأثیر پوشش گیاهی در میزان رواناب حاصل از بارش به‌خوبی دیده می‌شود.

هم‌چنین تحلیل یافته‌های تحقیق مؤید این موضوع است که استخراج و استفاده از واحدهای پاسخ هیدرولوژی به‌عنوان واحدهای کاری به‌خوبی می‌تواند رابطه‌ی بین فرم و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی را نشان دهد و جایگزینی مناسب برای زیرحوضه‌ها در مطالعات ژئومورفولوژی باشد و به‌خوبی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیکی حوضه‌های آبریز باشد. هم‌چنین باقابلیت بسط و گسترشی که دارد حتی می‌توان تأثیر سایر فرآیندهای تغییر شکل‌دهنده‌ی لندفرم‌ها از جمله حرکات زمین ساختی و غیره را نیز با استفاده از آن‌ها مطالعه نمود؛ بنابراین بهتر است به‌عنوان رویکردی جدید به‌عنوان کوچک‌ترین واحد مطالعاتی در مطالعات ژئومورفولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

۱. بیات موحد، فرهاد، نیک کامی، داور (۱۳۸۶). تأثیر کاربرد مالچ کاه و کلش گندم بر مقدار رواناب اراضی زراعی دیم شیب‌دار، مجموعه مقالات دهمین کنگره‌ی علوم خاک ایران، کرج، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تهران، صص ۱۱۲۸-۱۱۳۰.
۲. حسینی، مجید، عطاپور، عباس. کرمی، سید عزیز. روغنی، محمد، روشن، بیات (۱۳۸۴). بررسی تأثیر پوشش پلاستیکی در تولید رواناب و نگهداشت رطوبت خاک، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، صص ۲۶-۳۰.
۳. رئیس‌یان، راهب (۱۳۸۴).، بررسی اثر شیب زمین، شرایط رطوبتی خاک و کاربری اراضی در زمان شروع رواناب، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، صص ۳۹-۳۰.
۴. عارفی اصل، اکرم، نجفی نژاد، علی، کیانی، فرشاد، سلمان ماهینی، عبدالرسول (۱۳۹۲). تعیین مناطق بحرانی تولید رسوب در آبخیز چهل‌چای استان گلستان با استفاده از مدل SWAT، پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، شماره‌ی ۵، صص ۱۹۳-۲۰۵.

۵. عبدلی، صادق، قریشی‌راد، حمیدرضا (۱۳۸۴). بررسی تأثیر بهره‌برداری‌های مختلف اراضی در کاهش رواناب و رسوب، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، صص ۱۳۱۶-۱۳۱۴.
۶. عزیزاده، امین (۱۳۹۰). اصول هیدرولوژی کاربردی (چاپ ۳۳). مشهد: چاپ دانشگاه امام رضا (ع).
۷. فیض‌نیا، سادات. سلاجقه، علی. احمدی، حسن، فضل‌الهی، علی (۱۳۸۶). بررسی رابطه‌ی خصوصیات فیزیکی خاک و میزان رواناب و رسوب در پادگان‌های آبرفتی با استفاده از باران ساز (منطقه‌ی مورد مطالعه: زیرحوضه‌ی عباس‌آباد جاجرود)، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، صص ۱۳۱۶-۱۳۱۴.
۸. محمدی، حسین. پناهی، علی (۱۳۸۵). برآورد میزان رواناب با استفاده از روش SCS و GIS در حوضه‌ی آبریز قلعه‌چای آذربایجان شرقی، نشریه‌ی انجمن جغرافیایی ایران، شماره‌ی ۱۰ و ۱۱، صص ۱۱۹-۱۲۳.
۹. مدیریت سازمان آبخیزداری کشور (۱۳۹۵). مطالعات مرحله‌ی توجیهی طرح آبخیزداری حوضه‌ی قره‌سو اردبیل، ۱۳۷۶، گزارش توپوگرافی حوضه.
۱۰. نوری، حمید. خوشحال، جواد، علی‌ولی، عباس (۱۳۸۶). بررسی اثر اجرای عملیات آبخیزداری بر ضریب رواناب در مناطق خشک، مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، صص ۱۳۰۹-۱۳۰۷.
11. Cudennec, C. Lavwnne, A, (2015). Hydrogeomorphology—a long-term scientific interface, Hydrology Reserch, Volume 46. Number 2, pp 175-179.
12. Drogton, R.S. Wild, B.M. Haris, J.H. (1992). GIS approach to ditribute modelling, in Terrain analysis and distribute modelling in hidrology, UK.
13. Flugel, W.A, (1995). Delineating hydrological response units by geographical information system analyses for regional hydrological modelling using PRMS/MMS in the drainage basin of the River Brol, Germany. IAHS Publ. Volume 231, pp 79-89.
14. Lagacherie, P. Rabotin, M. Colin, F. Moussa, R. Voltz, M. (2010). Geo-MHYDAS: A landscape discretization tool for distributed hydrological modeling of cultivated areas. Computers & Geosciences, Volume 36, pp 1021-1032.
15. Sabourin, J.F. & Associates (1996). Implementation of a distributed hydrologic model: Using SLURP on the Carp watershed. CCRS, Ottawa,
16. Sanzana, P. Jankowfsky, S. Branger, F. Braud, I. Vargas, X. Hitschfeld, N and Gironas, J. (2013). Computer-assisted mesh generation based on hydrological response unit for distribute hydrological modeling, Computer & geosciences, Volume 57, pp 32-43.
17. Su, M. W.J. Stolte and G. van der Kamp, (1997). Modelling wetland hydrology using SLURP, Proc.Scientific Meeting of the Canadian Geophysical Union, Banff, Alberta.
18. Tibebe, D and Bewket, W. (2010). Runoff and soil erosion estimation using the SWAT model in the Keleta watershed, Ethiopia. Land Degrad. Dev. Published online < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ldr.1034/abstract>>.