جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۹، زمستان ۱۳۹۲
صص. ۷۳-۶۵

تهیّهٔ نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب و بررسی دقّت آن توسّط مدل هیدرولوژیکی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ ناودار گیلان غرب)

نرگس امیدی* - کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه
بهمن فرهادی - استادیار مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه
سمیرا رحیمی - کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه
همایون حصادی - استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، کرمانشاه

وصول: ۱۳۹۲/۰۵/۱۵ **پذیرش:** ۱۳۹۲/۰۹/۲۶

چکیده

شمارهٔ منحنی رواناب یکی از پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبهٔ میزان رواناب با استفاده از روش SCS است. با توجّه به اینکه عوامل مؤثّر بر این پارامتر دارای تغییرات مکانی هستند، مقادیر مختلفی برای شمارهٔ منحنی در بخش‌های مختلف یک حوضهٔ آبریز قابل انتظار است. هدف از مطالعهٔ کنونی، تعیین نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب حوضهٔ ناودار در استان کرمانشاه است. برای این منظور، از سیستم اطّلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده گردیده است. ابتدا نقشهٔ کاربری اراضی منطقه بر اساس تصاویر ماهوارهٔ لندست (TM) و با استفاده از نرم‌افزار ارداس تهیّه گردید. سپس با کمک شاخص NDVI تراکم پوشش زمین تعیین شد. نقشهٔ گروه هیدرولوژیکی خاک منطقهٔ مورد مطالعه با استفاده از نقشهٔ خاک‌شناسی موجود در محیط Arc GIS به دست آمد. در نهایت نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب بر اساس جدول SCS و نقشه‌های کاربری اراضی، تراکم پوشش زمین و گروه هیدرولوژیکی خاک تهیّه گردید. متوسّط شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی متوسّط در منطقهٔ مورد مطالعه ۷۸ محاسبه گردید. هم‌زمان با تحلیل رواناب‌های ثبت‌شده در مدل بارش - رواناب HEC-HMS مقدار شمارهٔ منحنی رواناب برای حوضهٔ مورد مطالعه ۷۶ تعیین گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان دقّت برآورد شمارهٔ منحنی از طریق RS و GIS بالاست، لذا می‌توان با دقّت قابل قبولی به شمارهٔ منحنی حاصل از روش RS و GIS در این حوضهٔ آبریز اعتماد کرد. با توجّه به شمارهٔ منحنی به دست آمده برای حوضه (۷۸) می‌توان نتیجه گرفت که این حوضه، پتانسیل تولید رواناب بالایی دارد.

***واژگان کلیدی:** شمارهٔ منحنی رواناب، سیلاب، سنجش از دور، مدل بارش - رواناب، مدل HEC-HMS.*

*. نویسندهٔ مسئول: ۰۹۳۵۴۶۵۱۹۳۰
E-mail: narges.omidi2013@gmail.com

مقدّمه

امروزه بخش مهمّی از سیلاب حوضه‌های مهم مهار شده‌اند، امّا هنوز سیل، خسارات جانی و مالی فراوانی را به جوامع بشری و سرمایه‌های آنها وارد می‌سازد (موسوی ندوشنی و داننده‌مهر، ۱۳۸۴: ۲۴). میزان نفوذپذیری حوضه از فاکتورهای تأثیرگذار بر رواناب حوضه است. نمایهٔ مربوط به خصوصیات نفوذ حوضه، شمارهٔ منحنی[1] نام دارد (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۲). با به دست آوردن شمارهٔ منحنی حوضه، می‌توان دبی اوج سیل را برای طرّاحی مناسب پروژه‌ها و تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی برآورد نمود. در برنامه‌ریزی‌های منابع آب لازم است رابطهٔ بین بارش و رواناب معلوم شود. با توجّه به اینکه شمارهٔ منحنی یکی از پارامترهای مهم در ورودی برخی مدل‌های بارش رواناب است، برآورد دقیق آن باعث ایجاد اعتماد بالا به صحّت نتایج مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی رواناب حوضه است. مقدار این نمایه از صفر تا صد تغییر می‌کند و شمارهٔ منحنی بزرگتر نشان‌دهندهٔ رواناب سطحی بیشتر است (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۲).

از جمله روش‌های تهیّهٔ نقشهٔ شمارهٔ منحنی، استفاده از سیستم اطّلاعات جغرافیایی[2] و سنجش از دور[3] است. گروه هیدرولوژی خاک، کاربری اراضی، پوشش زمین و شرایط پیشین رطوبت خاک از جمله پارامترهای مهم برای محاسبهٔ شمارهٔ منحنی هستند؛ بنابراین، مهم‌ترین گام در محاسبهٔ سیل، تعیین و محاسبهٔ دقیق این پارامترهاست (تکلی[4]، ۲۰۰۶). پیشرفت‌های اخیر در سنجش از دور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی منجر به کاربرد گستردهٔ آن در مطالعات هیدرولوژی شده است. امروزه انواع نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی را می‌توان با کمک تصاویر ماهواره‌ای تعیین و با استفاده از آنها شمارهٔ منحنی و در نهایت رواناب را برآورد کرد. استفاده از سنجش از دور و سیستم اطّلاعات جغرافیایی باعث صرفه‌جویی در وقت، افزایش دقّت در برآورد شمارهٔ منحنی و در نتیجه محاسبهٔ دقیق‌تر و سریع‌تر دبی پیک سیلاب می‌گردد.

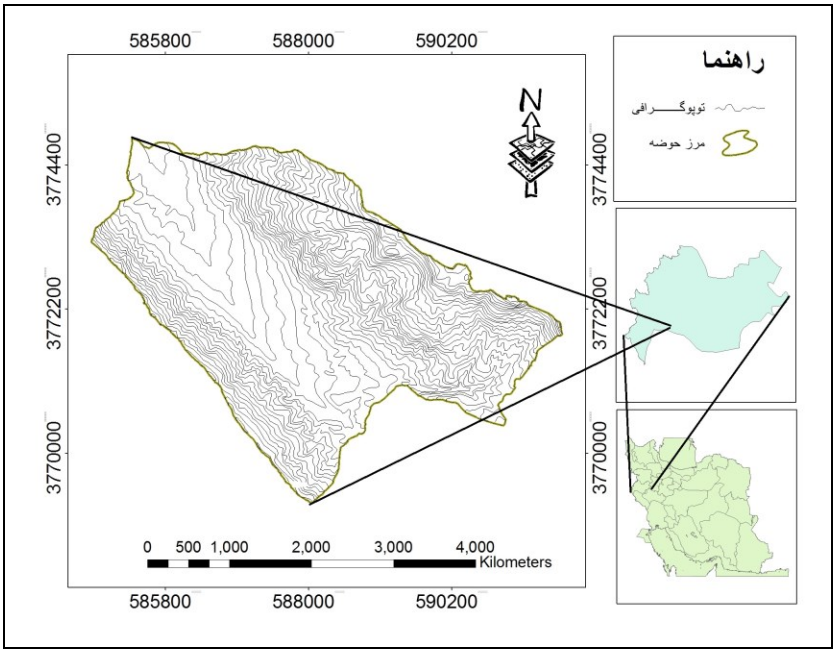
پژوهشگران، با تهیّهٔ نقشهٔ شمارهٔ منحنی، از آن برای اهداف مختلف از جمله برآورد رواناب حوضه‌های آبریز استفاده کرده‌اند. یعقوب‌زاده (۱۳۸۷)، با استفاده از سیستم اطّلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهوارهٔ لندست (ETM+) و با تهیّهٔ نقشه‌های گروه هیدرولوژیک خاک، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و با استفاده از جدول SCS، نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب و ضریب نگهداشت سطحی حوضهٔ آبریز منصورآباد بیرجند را تهیّه کردند. پس از ارزیابی شمارهٔ منحنی حاصله، نتایج نشان از دقّت و صحّت بالای شمارهٔ منحنی به دست آمده داشت. ثروتی و همکاران (۱۳۹۲)، با تهیّهٔ نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک و تلفیق این نقشه‌ها در محیط سیستم اطّلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش SCS، نقشهٔ شمارهٔ منحنی و نفوذ حوضه را تهیّه کردند و در نهایت حوضه را به چهار طبقهٔ بسیاربالا، بالا، متوسّط و کم از لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی تقسیم کردند. خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۸۰)، اثر شمارهٔ منحنی و شیب حوضه بر سیل‌خیزی حوضهٔ دماوند را ارزیابی کرده و شمارهٔ منحنی را عامل حسّاس و مؤثّر بر دبی معرّفی کردند. تکلی و همکاران (۲۰۰۶) اثر تغییرات شمارهٔ منحنی را روی دبی سیلاب حوضهٔ آبریز گوانتس[5] در هندوستان مورد بررسی قرار دادند؛ برای تهیّهٔ نقشهٔ کاربری اراضی از نقشه‌های ماهوارهٔ لندست TM و برای تعیین تراکم پوشش گیاهی از شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده[6] استفاده کردند،

1- CN
2- Geographic Information System (GIS)
3- RS
4- Tekeli
5- GUVENCE
6- NDVI (Normalized Different Vegetation Index)

همچنین از روش طبقه‌بندی خاک[1] برای تعیین گروه هیدرولوژی خاک بهره بردند. هدف از پژوهش حاضر، برآورد شمارهٔ منحنی رواناب حوضهٔ ناودار واقع در استان کرمانشاه با استفاده از سیستم‌های اطّلاعات جغرافیایی و سنجش از دور و مقایسهٔ آن با شمارهٔ منحنی به دست آمده در مرحلهٔ کالیبراسیون مدل بارش رواناب HEC-HMS است. نتایج این تحقیق می‌تواند برای حوضه‌های فاقد آمار سیلاب‌های مشاهداتی، جهت واسنجی و صحّت‌سنجی مدل‌های بارش - رواناب مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

حوضهٔ ناودار از نظر جغرافیایی بین طول‌های '۵۵ °۴۵ تا °۴۶ شرقی و عرض‌های '۴ °۳۴ تا '۷ °۳۴ شمالی واقع شده است. مساحت حوضهٔ آبخیز ناودار (قروتگ) بالغ بر ۲۰۱۰ هکتار و در جنوب شرقی شهر گیلان غرب واقع شده است. نتایج به دست آمده از مطالعات فیزیوگرافی منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد، حدود یک‌ششم از مساحت کلاس‌های شیب حوضه در کلاس ۱۲-۵٪ واقع شده که معادل ۱۶/۵٪ سطح حوضه را به خود اختصاص داده است. کمترین سطح اشغال‌شده به کلاس شیب بیش از ۶۰٪ تعلّق دارد. شیب متوسّط وزنی حوضه، ۱۵/۹٪ محاسبه گردیده است. شیب بستر آبراهه‌های منطقه نیز از نوسانات متنوّعی برخوردار است، به طوری که از ۱۹/۵٪ تا ۰/۵۳٪ در نوسان بوده، میانهٔ شیب طولی آبراهه‌های حوضه در حدود ۶/۷۵٪ قابل برآورد است. متوسّط ارتفاع واحدهای هیدرولوژیکی منطقهٔ مورد مطالعه از ۹۲۸ تا ۱۲۸۷ متر از سطح دریا در نوسان است. میانهٔ ارتفاعی آن رقمی در حدود ۱۱۰۷/۵ متر از سطح دریا است. نقشهٔ حوضهٔ ناودار در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱. موقعیّت حوضهٔ ناودار نسبت به استان کرمانشاه و ایران

در حالت کلّی شکل حوضه از نظر هندسی منظّم نیست. برخی از حوضه‌ها گردواره و برخی کشیده‌اند. به هر جهت شکل حوضه‌ها می‌تواند در مقدار دبی اوج رواناب خروجی از آنها تأثیر داشته باشد. بیشتر شکل حوضه‌ها به طور مستقیم در طرّاحی‌های هیدرولوژیکی وارد نمی‌شود، بلکه پارامترهایی که به نحوی شکل حوضه را به طور غیر مستقیم نشان می‌دهند وارد محاسبات هیدرولوژیکی می‌گردند. این پارامترها عبارتند از فاصله تا مرکز ثقل حوضه،

1- Soil Taxonomy

ضریب شکل، نسبت دایره‌ای، نسبت کشیدگی و ضریب گراویلیوس (علیزاده، ۱۳۸۵: ۴۶۲). نسبت طول کلّیّهٔ آبراهه‌ها در حوضه به مساحت آن را تراکم آبراهه‌ای می‌گویند. معمولاً تراکم سطحی آبراهه‌های بالاتر از ۳، نشان‌دهندهٔ حوضه با سیل‌خیزی بالا است.

برای تهیّهٔ نقشهٔ کاربری اراضی حوضهٔ آبریز مورد مطالعه از تصاویر ماهوارهٔ لندست (TM) به تاریخ ۲۴ مارس سال ۲۰۱۱ استفاده شد. این ماهواره، دارای ۷ باند طیفی است که قدرت تفکیک زمینی باندهای آن به‌جز باند ۶، ۳۰ متر است و برای این باند، ۱۲۰ متر است. جهت پردازش تصویر (تصحیح و بازسازی) از نرم‌افزار ارداس[1] استفاده شد. نقشهٔ کاربری اراضی در محیط این نرم‌افزار و بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده و با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال[2] تهیّه شد. کاربری اراضی حوضهٔ آبریز بر روی نفوذ، فرسایش و تبخیر و تعرّق اثر می‌گذارد و با تأثیر عمده‌ای که بر ایجاد رواناب دارد از فاکتورهای مهم در تعیین نقشهٔ شمارهٔ منحنی است. کاربری‌های موجود در منطقهٔ مورد مطالعه با توجّه به اطّلاعات میدانی و تصاویر گوگل ارث[3] که در سال مورد بررسی تهیّه شده بود به نرم‌افزار معرّفی گردید. به منظور تعیین تراکم پوشش گیاهی مراتع حوضه، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) با استفاده از نرم‌افزار ENVI تعیین شد و به منظور تعیین طبقات پوشش از جداول استاندارد استفاده شد. شاخص NDVI از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌هایی است که در زمینهٔ مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده است (کاسا[4]، ۱۹۹۰) و بیشترین حسّاسیّت را نسبت به تغییرات پوشش گیاهی دارد. فرمول NDVI از رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود (قبادیان و همکاران، ۱۳۹۱).

$$NDVI = (NIR-RED)/ (NIR+RED)$$ رابطهٔ ۱

که در آن، NIR و RED به ترتیب میزان بازتاب در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز هستند. مقادیر این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم به سوی عدد یک میل می‌کند ولی ابرها، برف و آب با مقادیر منفی مشخّص می‌شوند (عباسی و همکاران، ۱۳۸۸).

از جمله خصوصیات خاک که در پیدایش رواناب نقشی مؤثّر دارند شامل ساختمان، خلل و فرج، عمق، میزان سنگریزه، عمق لایهٔ سطحی و نوع لایهٔ زیرین آن است. بر اساس تقسیم‌بندی روش SCS گروه‌های هیدرولوژیکی خاک‌ها شامل چهار گروه A، B، C و D است که به ترتیب از A تا D از شدّت نفوذپذیری آنها کاسته می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۵: ۴۹۲). برای تهیّهٔ نقشهٔ گروه هیدرولوژیک خاک، با استفاده از نقشهٔ پایهٔ خاک‌شناسی حوضه، در محیط Arc GIS نقشهٔ رقومی خاک که شامل ویژگی‌هایی از قبیل بافت خاک و عمق است، تهیّه شد و با توجّه به جدول استاندارد، نقشهٔ گروه هیدرولوژیکی خاک به دست آمد.

نقشهٔ شمارهٔ منحنی رواناب

با تلفیق نقشه‌های گروه هیدرولوژی خاک و کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار GIS و بر اساس جداول استاندارد SCS، نقشهٔ شمارهٔ منحنی زیرحوضهٔ ناودار به دست آمد.

شمارهٔ منحنی به دست آمده برای شرایطی است که خاک در وضعیّت رطوبتی متوسّط باشد، اگر بارندگی زمانی باشد که از قبل حوضه خشک باشد و یا بارندگی در زمانی صورت گیرد که قبل از آن بارش دیگری رخ داده و خاک

1- ERDAS
2- Maximum Likelihood
3- Google Earth
4- Kassa

مرطوب باشد، در این صورت، باید CN برای هریک از دو وضعیّت خشک یا مرطوب اصلاح شود. این تصحیح می‌تواند از طریق رابطه‌های ۲ و ۳ صورت گیرد.

$$CN\ (I) = \frac{4.2CN(II)}{10-0.058CN(II)}$$ رابطهٔ ۲

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10+0.13CN(II)}$$ رابطهٔ ۳

در این رابطه‌ها، CN (I)، CN (II) و CN (III) به ترتیب شمارهٔ منحنی شرایط رطوبتی خشک، متوسّط و مرطوب است.

با توجّه به اینکه نقشهٔ شمارهٔ منحنی حاصله یک نقشهٔ رستری است و هر پیکسل دارای یک مقدار است می‌توان متوسّط شمارهٔ منحنی را برای کلّ حوضه یا هر بخش دلخواه محاسبه کرد.

مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS یکی از نرم‌افزارهای گروه مهندسین ارتش آمریکا است که در زمینهٔ شبیه‌سازی بارندگی - رواناب و هیدرولوژی سیل جایگزین نرم‌افزار HEC-1 شده است. این برنامه به گونه‌ای طرّاحی شده است که دامنهٔ گسترده‌ای از نواحی جغرافیایی را پاسخگو باشد، به‌علاوه این برنامه قابلیّت تحلیل رودخانه‌های حوضهٔ آبریز بزرگ، ذخایر آبی و هیدرولوژی سیلاب و رواناب حوضه‌های آبریز طبیعی و شهری را دارا باشد. استفاده از محیط گرافیکی بسیار قوی و آسان جهت شبیه‌سازی حوضه‌ها، استفاده از محدودهٔ بسیار وسیع روابط هیدرولوژیکی در محاسبات، قابلیّت تحلیل هیدرولوژیکی پیوسته، امکان واسنجی پارامترها و بهینه‌سازی نتایج و... از جمله امکانات مفید در این نرم‌افزار هستند (مهدوی، ۱۳۹۰). پس از کالیبره‌کردن مدل HEC-HMS متوسّط شمارهٔ منحنی به دست آمده در طی فرایند کالیبراسیون، با شمارهٔ منحنی متوسّط به دست آمده از RS و GIS مقایسه شد.

نتایج و بحث

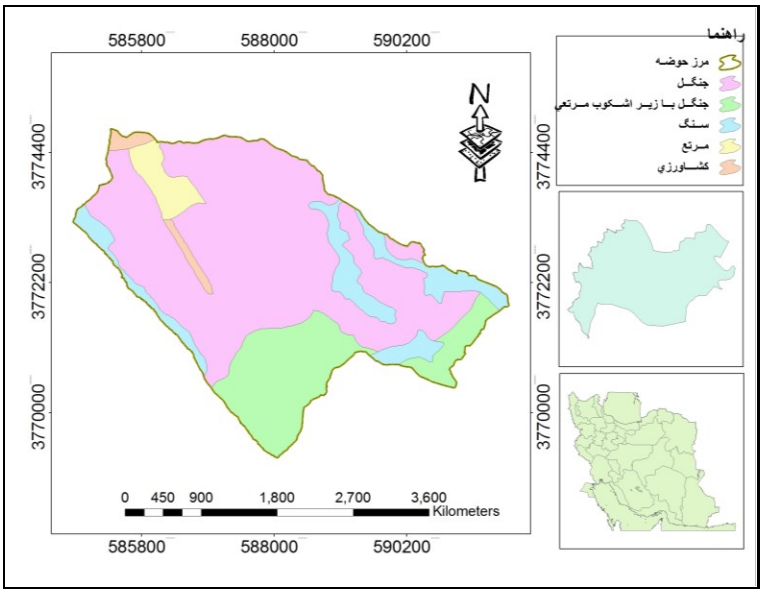
در جدول ۱، مقادیر ویژگی‌های فیزیکی حوضهٔ ناودار آمده است. با توجّه به اینکه ضریب شکل حوضهٔ آبخیز ناودار ۲/۲۶ است، می‌توان نتیجه گرفت که حوضه کشیده است، امّا عدد مربوط به تراکم زهکشی در حوضهٔ ناودار ۷/۴ است که نشان از سیل‌خیزبودن آن دارد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی حوضهٔ ناودار

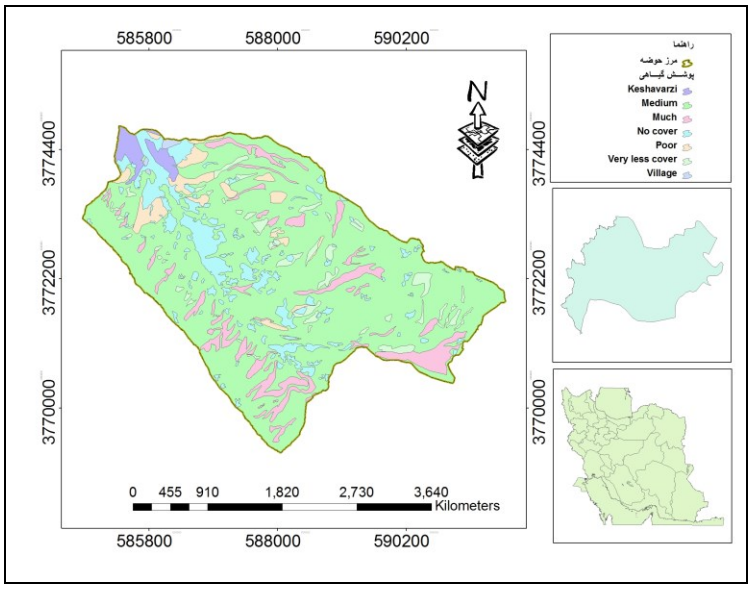
مساحت (Km^2)	محیط (Km)	طول آبراههٔ اصلی (Km)	فاصله مرکز ثقل تا خروجی (Km)	ضریب شکل	ضریب گردی	ضریب گراویلیوس	مجموع طول آبراهه‌ها (km)	تراکم زهکشی (km/km^2)
۲۰/۱	۲۱/۹۹	۵۲/۰۴	۰/۲۳	۲/۲۶	۰/۹۱	۱/۰۹	۱۴۹/۳	۷/۴

حوضهٔ مورد مطالعه جزء اقلیم جنگل‌های خشک زاگرس است که دارای سازندهای سخت آهکی در نقاط بالای دامنه بوده و در آن توده‌ها و برون‌زدگی‌های سنگی به صورت نواری مشاهده می‌شود. دارای خاکی کم‌عمق و سطحی در بعضی قسمت‌ها نیمه‌عمیق همراه با سنگریزه با بافت متوسّط تا سنگین بر روی تجمّعی از موادّ آهکی است. این اراضی، دارای خاک‌هایی از ردهٔ ریگوسل و کامبی سل آهکی است. انواع فرسایش سطحی، شیاری آبراهه‌ای و لغزش در مناطق مختلف حوضه دیده می‌شود. شیب دامنه در دامنه‌های بالادست تند بیش از ۳۰٪ و در مناطق پایین‌دست حدود ۱۰٪ است. نقشهٔ کاربری اراضی حوضهٔ ناودار در شکل ۳، نقشهٔ پوشش گیاهی در شکل

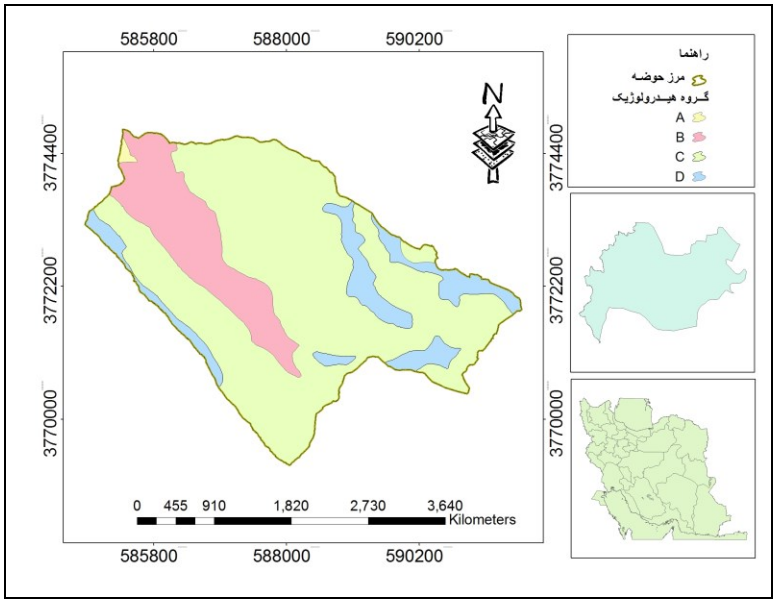
۴، نقشهٔ گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در شکل ۵ و مساحت گروه‌های هیدرولوژیکی در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در نقشهٔ کاربری اراضی مشاهده می‌شود، کاربری‌های منطقه شامل جنگل، کشاورزی، مرتع، سنگی، جنگل با زیراشکوب مرتعی تعیین شده‌اند. با توجّه به این نقشه، کمترین کاربری مربوط به کشاورزی و بیشترین مربوط به جنگل است. نقشهٔ گروه هیدرولوژی خاک (شکل ۵) نشان می‌دهد که گروه C با ۷۰٪، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است. پس از تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژی خاک در محیط GIS، نقشهٔ شمارهٔ منحنی حوضه حاصل شد (شکل ۶). طبق نتایج، بیشترین مساحت حوضه دارای شمارهٔ منحنی بین ۷۵ تا ۹۵ است که عمدهٔ این مناطق، در گروه هیدرولوژی C خاک قرارگرفته‌اند. جدول ۳ میانگین وزنی شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میانگین وزنی شمارهٔ منحنی به دست آمده توسّط RSو GIS در شرایط رطوبتی متوسّط ۷۸ است. با توجّه به شمارهٔ منحنی به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که حوضه، پتانسیل تولید رواناب بالایی دارد.



شکل ۳. نقشهٔ کاربری اراضی حوضهٔ ناودار



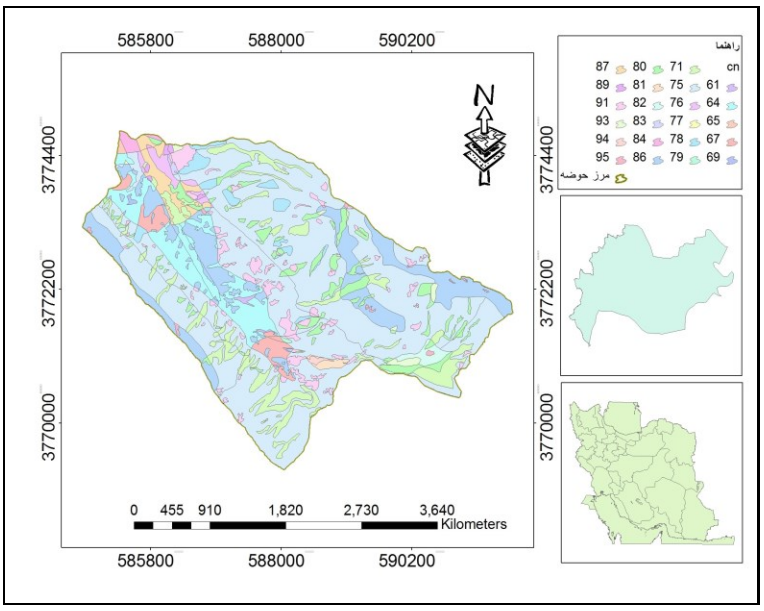
شکل ۴. نقشهٔ پوشش گیاهی حوضهٔ ناودار



شکل ۵. نقشهٔ گروه هیدرولوژی خاک حوضهٔ ناودار

جدول ۲. مساحت گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضهٔ ناودار

ردیف	گروه‌های هیدرولوژیک خاک	مساحت
۱	A	۶/۳
۲	B	۳۴۹/۷
۳	C	۱۴۱۵/۱
۴	D	۲۳۹/۸

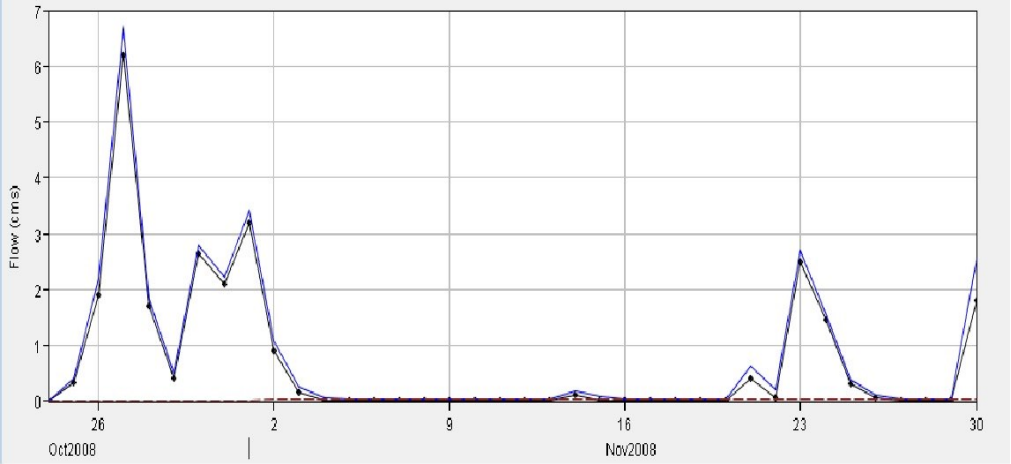


شکل ۶. نقشهٔ شمارهٔ منحنی حوضهٔ ناودار

جدول ۳. میانگین شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی مختلف

شرایط رطوبتی مختلف	میانگین شمارهٔ منحنی حوضه
خشک	۶۱
متوسّط	۷۸
مرطوب	۹۵

جدول ۴، نتایج مقایسهٔ بین دبی اوج، حجم رواناب و زمان رسیدن به نقطهٔ اوج هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در مرحلهٔ ارزیابی مدل برای رگبار اتّفاق‌افتاده به تاریخ ۱۱ آبان ۱۳۸۷ را نشان می‌دهد. همچنین هیدروگراف سیلاب مشاهداتی و محاسباتی ایستگاه هیدرومتری ناودار در تاریخ مذکور در شکل ۷ آمده است.



شکل ۷. آب‌نمود سیل اعتباریابی شده و مشاهده‌شدهٔ بارش تاریخ ۱۳۸۷/۰۸/۰۳ تا ۱۳۸۷/۰۸/۱۱

جدول ۴. مقایسهٔ نتایج صحّت‌سنجی مدل در برآورد خصوصیات هیدروگراف

ایستگاه	تاریخ وقوع بارش	دبی مشاهداتی (m3/s)	حجم مشاهداتی (mm)	دبی محاسباتی (m3/s)	حجم محاسباتی (mm)	CN	Ia (mm)	T Lag (hr)
ناودار	۱۳۸۷/۰۸/۰۳ تا ۱۳۸۷/۰۸/۱	۶/۶	۱۲۵/۶۱	۶/۲	۱۰۹/۳۶	۷۶	۱۵/۵	۶/۹

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پیش‌بینی دبی اوج و زمان مربوط به آن نتایج مطلوبی را داشته است. به طوری که اختلاف دبی اوج هیدروگراف مشاهده‌ای و هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده بسیار کم بوده است که در محدودهٔ ۲۰٪ خطای مجاز در مدل قرار دارد (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۲) و اختلاف زمان رسیدن به زمان اوج هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی نیز قابل پذیرش است.

طبق نتایج، شمارهٔ منحنی به دست آمده از طریق RS و GIS با شمارهٔ منحنی به دست آمده از کالیبراسیون مدل HEC-HMS اختلاف قابل توجّهی با هم ندارند؛ بنابراین می‌توان به شمارهٔ منحنی رواناب به دست آمده توسّط RS و GIS اعتماد کرد و از این روش می‌توان برای محاسبهٔ دبی سیل در مناطقی که در آنها برآورد رواناب امکان‌پذیر نیست، استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، پس از برآورد شمارهٔ منحنی از طریق RS و GIS، این مقدار با مقداری که از طریق کالیبره‌کردن مدل بارش رواناب HEC-HMS به دست آمد مقایسه گردید. برای بررسی نتایج به دست آمده از رگبار مشاهده‌ای مورّخ ۱۱ آبان ۱۳۸۷ استفاده شد. مقداری که از طریق RS و GIS به دست آمد به طور متوسّط ۷۸ و مقداری که از طریق کالیبره‌کردن حاصل شد ۷۶ است که اختلاف قابل توجّهی با هم ندارند و نتایج صحّت شمارهٔ منحنی برآورد شده از طریق RS و GIS را نشان می‌دهد. همچنین با توجّه به متوسّط شمارهٔ منحنی به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که حوضه، پتانسیل تولید رواناب بالایی دارد، طبق بررسی‌های انجام‌شده و بازدیدهای مکرّر میدانی،

حوضهٔ ناودار از نقطه‌نظر سیل‌خیزی بسیار سیل‌خیز بوده و اکثر رواناب‌های ایجادشده با سرعت تخریبی بسیار زیاد از خروجی حوضه عبور می‌کند که این مسئله نشان‌دهندهٔ صحّت پژوهش حاضر است و می‌توان از نتایج به دست آمده در طرّاحی‌های هیدرولوژی منطقه استفاده کرد.

منابع

ثروتی، محمد رضا؛ احمدی، محمود؛ نصرتی، کاظم؛ مزبانی، مهدی (۱۳۹۲) پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ آبریز سراب دره‌شهر، **جغرافیا**، ۳۶ (۱۱)، صص. ۷۷-۵۵.

خسروشاهی، محمد؛ ثقفیان، بهرام (۱۳۸۰) تعیین نقش زیرحوضه‌های آبخیز در شدّت سیل‌خیزی، **مجلّهٔ پژوهش و سازندگی**، ۱۶ (۲)، صص. ۷۵-۶۷.

عباسی، محمد؛ خیرخواه، میر مسعود؛ محسنی، محسن (۱۳۸۸) ارزیابی اقدامات فنّی آبخیزداری به کمک مدل HEC-HMS (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ کن استان تهران)، **گزارش طرح تحقیقاتی، پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری**.

علیزاده، امین (۱۳۸۵) **اصول هیدرولوژی کاربردی**، چاپ نوزدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

قبادیان، رسول؛ جهاندیده، کامران؛ فتاحی چقابگی، علی (۱۳۹۱) شبیه‌سازی فرایند بارش – رواناب در حوضهٔ آبریز قره‌سو با استفاده از مدل WMS، **مهندسی آبیاری و آب**، ۹ (۴)، صص. ۹۸-۸۹.

موسوی ندوشنی، سعید؛ داننده‌مهر، علی (۱۳۸۴) **سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS**، چاپ اول، انتشارات مؤسّسهٔ فرهنگی هنری دیباگران، تهران.

مهدوی، محمد (۱۳۹۰) **هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

یعقوب‌زاده، مصطفی (۱۳۸۷) محاسبهٔ شمارهٔ منحنی رواناب حوضهٔ آبریز با استفاده از شیوه‌های GIS و RS، مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز منصورآباد بیرجند، **پژوهش آب ایران**، ۳ (۵)، صص.۴۰-۳۱.

Kassa, A. (1990) Drought Risk Monitoring for Sudan Using NDVI, 1982-1993, **A Dissertation Submitted to the University College London**.

Tekeli, I., Akgul, S., Dengiz, O., Akuzum, T. (2006) Estimation of Flood Discharge for Small Watershed Using SCS Curve Number and Geographic Information System, **International Congress on River Basin Management**, 4 (1), pp. 527-538.