مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قوچک - رودک با استفاده از مدل HEC- HMS

محمد مهدی حسین زاده[۱]*، سپیده ایمنی[۲]

۱-دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲- کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۸/۲۱

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۹

چکیده

حوضه آبخیز به عنوان یک هیدروسیستم است که نسبت به بارش ورودی واکنش نشان می‌دهد. این واکنش در ابعاد هیدورگراف سیلاب نمایان می‌گردد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک در محیط ARC GIS، نقشه شماره منحنی برای حوضه بدست آمد سپس با استفاده از نرم افزار الحاقی HEC-geo HMS مدل حوضه تهیه گردید. در نهایت به منظور برآورد ارتفاع رواناب و مطالعه وضعیت سیل‌خیزی و هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قوچک - رودک، مدل HEC- HMS اجرا شد. به منظور اعتبارسنجی مدل ۵ واقعه بارش - رواناب از ایستگاه هیدروگرافی رودک استخراج و بعد از مدل‌سازی، مقدار دبی مشاهداتی با مقدار دبی محاسباتی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مدل در ارتباط با کارایی مدل مذکور در برآورد رواناب و دبی اوج سیلاب مورد پذیرش نمی‌باشد زیرا اختلاف بین دبی اوج مشاهداتی و محاسباتی بیش از ۲۰ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیل، مدل HEC- HMS، اعتبارسنجی، حوضه آبخیز قوچک- رودک.

*- نویسنده مسئول: ۰۲۱-۲۹۹۰۲۶۰۲

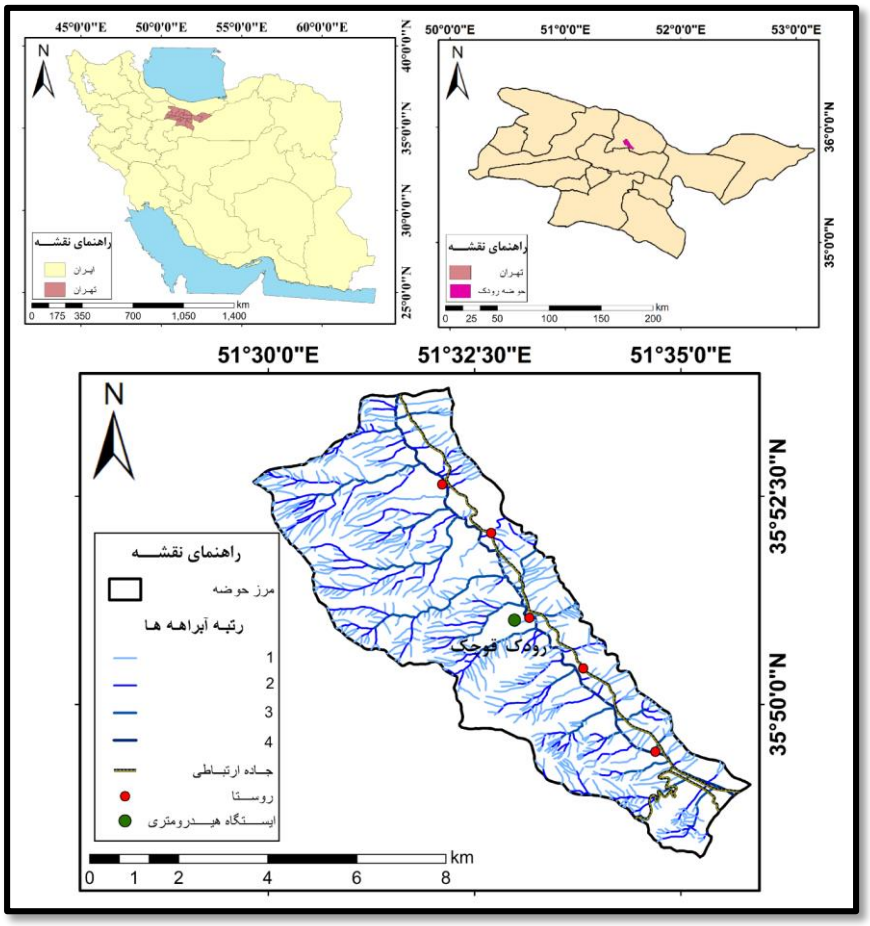
Email: M_Hoseinzadeh@sbu.ac.ir

مقدمه

اهمیت سیلاب و نقش آن در زندگی بشر باعث جلب توجه به این پدیده طبیعی شده است. تحقیقات متعددی در راستای شناخت بزرگی و زمان وقوع سیل انجام شده و روش‌های مختلفی جهت برآورد ارتفاع رواناب ابداع گردیده است. از جمله روش‌های معمول و متداول برای بررسی سیلاب شامل روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب، استفاده از روابط تجربی و مدل‌های شبیه‌سازی بارش - رواناب می‌باشد (شکری کوچک و همکاران، ۱۳۸۵). در حال حاضر استفاده از مدل‌های (بارندگی - رواناب) در این زمینه کاربرد وسیعی یافته و روش استدلالی به تدریج جای خود را به مدل‌هایی که در آن نه تنها دبی حداکثر (اوج) بلکه رژیم جریان سطحی نیز در هر نقطه از محدوده مطالعاتی مورد محاسبه قرار می‌گیرد، جایگزین گردید (نشاط و صدقی، ۱۳۸۵). مدل‌سازی بارش - رواناب یکی از موارد کلیدی در علوم هیدرولوژی و مدیریت محیط زیست برای دستیابی به خصوصیات سیلاب از قبیل میزان دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج به شمار می‌رود. در این ارتباط اعتبارسنجی این مدل‌ها امری ضروری و گاهاً اجتناب ناپذیر است. با توجه به روش‌های نوین در مدل‌سازی و نرم افزارهای موجود که باعث افزایش سرعت و کاهش زمان اجرای محاسبات گردیده، مطالعات مربوط به هیدرولوژی بعد از دهه ۱۹۵۰ به طور چشم‌گیری گسترش یافت. یکی از نرم افزارهای موجود جهت شبیه سازی بارش- رواناب مدل HEC- HMS می‌باشد. این مدل با داشتن تنوع زیر مدل-های موجود در آن کاربرد و کارایی وسیعی در بسیاری از نقاط دنیا دارد (شکری کوچک و همکاران، ۱۳۸۵). به منظور برآورد رواناب و سیلاب مطالعات متعددی با استفاده از نرم افزار HEC- HMS در مناطق مختلف انجام شده که شامل: شکری کوچک و همکاران (۱۳۹۰)، مقاله تخمین آبنمود سیلاب حوضه آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS و سامانه اطلاعات جغرافیایی را ارائه نمودند که در آن حوضه آبریز ایدنک بررسی شده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از مدل بدون واسنجی غیرقابل اعتماد است و بایستی پارامتر CN کالیبره شود. نتایج مدل واسنجی شده دلالت بر کارایی آن در برآورد رواناب و دبی اوج سیلاب دارد. کریمی و همکاران (۱۳۹۰)، به مطالعه ارزیابی توانایی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه آبخیز لیقوان پرداخته و نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدروگراف سیل نشان داده است که اختلاف پیش‌بینی زمان وقوع و اندازه حداکثر سیلاب اتفاق افتاده و محاسبه شده توسط مدل HEC-HMS کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد، لذا می-توان به نتایج به دست آمده اطمینان کامل کرد و از آن‌ها برای پیش‌بینی سیلاب‌های احتمالی بهره جست. نصری و سلیمانی (۱۳۹۰)، استفاده از مدل هیدرولوژیک HEC-HMS شبیه‌سازی جریان در واحدهای هیدرولوژیک منطقه حوضه سد شیخ بهایی را انجام داده و نتایج نشان دادند که مناطقی که در نزدیکی نقطه خروجی حوضه قرار داشتند بیشترین نقش را در تولید سیل داشته است. آن‌ها نتیجه گرفتند که نتایج بدست آمده می‌تواند کمک شایانی به سیستم پایش منطقه نماید. دستورانی و همکاران (۱۳۸۹)، به ارزیابی و واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه سد طرق واقع در استان خراسان رضوی با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند. پس از تعیین مقادیر شماره منحنی، مقادیر تلفات اولیه، زمان تاخیر با روش های SCS و اشنایدر و زمان تمرکز حوضه با روش SCS، مدل HEC-HMS را اجرا نمودند. نتایج نشان داد که در محاسبه شماره منحنی و تلفات اولیه جریان توسط مدل، استفاده از روش‌های اشنایدر و SCS برای محاسبه زمان تاخیر حوضه از تفاوت چندانی برخوردار نمی‌باشند. غلامی و همکاران (۱۳۸۸)، اثر

تغییرات کاربری اراضی در ایجاد رواناب و خطر سیلاب حوضه آبخیز کسیلیان را مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از روش SCS و استفاده از مدل بارش- رواناب و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS به شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب و برآورد ارتفاع رواناب پرداخته و اثرات کاربری اراضی را در تشدید رواناب و خطر سیلاب حوضه مورد بررسی قرار دادند. امیر احمدی و شیران (۱۳۸۸)، در پژوهشی از روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی با نرم افزار HEC-HMS برای بازسازی مدل حوضه در سیلاب دشت کرون و بررسی ردیابی هیدروگراف سیل در آن و نیز برای تحلیل حساسیت دبی سیلابی حوضه نسبت به تغییر دو پارامتر قابل مدیریت در سیلاب شامل شیب و شماره منحنی و مساحت در هر یک از زیرحوضه ها استفاده شده بود. نتایج نشان داد که نحوه مشارکت زیرحوضه ها در سیل خروجی لزوماً متناسب با دبی اوج زیر حوضه ها نبوده و زیرحوضه های با دبی اوج بیشتر ضرورتاً تاثیر بیشتری در سیل خروجی حوضه ندارند. چیداز و همکاران (۱۳۸۸)، به ارزیابی مدل HEC-HMS به منظور برآورد سیلاب حوضه آبخیز کسیلیان پرداختند و باتوجه به درصد اختلاف کمتر بین دبی مشاهداتی و محاسباتی و بررسی هیدروگراف ها، روش هیدروگراف واحد SCS را به عنوان روش مناسب انتخاب کردند و همچنین به این نتیجه رسیدند که که میزان مشارکت زیرحوضه ها در سیل خروجی با مساحت آنها رابطه مستقیم ندارد. ثقفیان و فرازجو (۱۳۸۶) برای اولویت بندی سیل‌خیزی واحدهای آبشناسی حوضه سد گلستان و خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۸۴) برای اولویت بندی مناطق سیلخیز حوضه آبریز دماوند از مدل HEC- HMS استفاده نموده اند. نتایج نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه ها در تولید رواناب کل حوضه صرفاً به یک عامل بستگی ندارد و اثرات متقابل عوامل تعیین کننده سهم مشارکت زیرحوضه ها را در سیل‌خیزی تعیین می کنند. " بررسی امنیت سد مایسورا در تایلند از لحاظ هیدرولوژیکی"، عنوان تحقیقی است که تینگ سان چالی (۲۰۱۲)، برای ردیابی تبدیل حداکثر بارش محتمل (PMP) به حداکثر سیل محتمل (PMF) و ردیابی آن در مخزن سد وقتی که جریان سیل از تاج سرریز عبور می‌کند، از نرم افزار HEC-HMS استفاده کرده است. نتایج نشان دادند که بیشترین حجم سیل در دشت سیلابی و در منطقه شهرنشین رخ می-دهند از این رو باید اقداماتی در خصوص کنترل سیلاب در منطقه انجام شود. هونگ مینگ و همکاران (۲۰۱۲)، به وسیله شبیه‌سازی مدل گرادیان هیدرودینامیکی و شاخص خطرپذیری هیدرولوژیکی و با ترکیبی از مدل-های HEC-HMS/ RAS، فرآیندهای اقلیمی، کوه-شناسی و هیدرولوژیک را در کوه‌های کوئینلینگ ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییر اقلیم عامل اصلی وقوع سیل‌های عظیم است و کوه‌های مذکور باعث افزایش رخدادهای طوفان رگباری و سیل در منطقه می-شود. علی محمد(۲۰۱۱)، برای بررسی میزان تاثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب سطحی در حوضه لینولاه در پاکستان از مدل بارش رواناب HEC-HMS استفاده کرد. بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای ۵ واقعه بارندگی در محدوده مطالعه شده، مدل را برای سناریوهای مختلف استفاده از زمین در آینده واسنجی کردند. در نهایت نتایج نشان دهنده این امر بود که در آینده با تغییر کاربری اراضی، رواناب کل بین ۵۱/۶ تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. چن و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی سناریوهای تغییر کاربری اراضی و اثرات آن بر میزان رواناب پرداختند. آنها با استفاده از مدل HEC-HMS و ۷ واقعه منتخب و سناریوی کاربری اراضی آینده برای سال ۲۰۵۰ و کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ را به عنوان پایه قرار دادند. گارسیا و همکاران (۲۰۰۸)، به ارزیابی منابع آب سطحی در حوضه‌های با تعداد ایستگاه کم در شمال

اسپانیا پرداختند. در واقع از مدل HEC-HMS برای تخمین مقدار آب قابل دسترس استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که داده‌های حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل و داده‌های ثبت شده تفاوتی چندانی با هم ندارند. در طرحی کافله و همکاران (۲۰۰۷)، با به کارگیری مدل HEC-HMS اثر بارش در تولید رواناب حوضه بگماتی در ویتنام را مورد بررسی قرار دادند. امرسون و همکاران (۲۰۰۳)، با استفاده از مدل HEC-HMSبه مدل‌سازی بارش- رواناب پرداختند. نتایج نشان داد که سطوح ذخیره، مقدار پیک جریان را برای واقعه رگبار کاهش می‌دهند. در زمینه شبیه-سازی رفتار هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز کریستوفر و همکاران (۲۰۰۱) و استون (۲۰۰۱)، با بکارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار HEC-HMS یک مدل بارش - رواناب ارائه نمودند و نتایج آنها حاکی از قابلیت این روش در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب یک حوضه آبخیز می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط آرناد و همکاران (۲۰۰۱) در کشور مکزیک انجام شد، حساسیت مدل HEC- HMS نسبت به توزیع بارش به صورت متوسط مکانی و یا سطوح هم بارش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش مساحت حوضه، تغییرات بارش زیاد می‌شود.



شکل۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان تهران

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز قوچک - رودک حوضه‌ای کوهستانی در استان تهران و در ´´۵۲ ´۳۴ °۵۱ تا´۲۹ °۵۱ طول شرقی و ´´۵۹ ´۵۳ °۳۵ تا ´´۱۵ ´۴۸ °۳۵ عرض شمالی واقع شده است. که در واقع بخشی از حوضه آبخیز سد لتیان نیز محسوب می‌گردد. از شمال به روستای حاجی‌آباد، از جنوب به تقاطع جاده‌های تهران، لواسانات و فشم، از شرق به جاجرود و جاده ارتباطی اوشان- فشم و از غرب به ارتفاعات مشرف به سوهانک و حوضه آبخیز شمال تهران محدود می‌گردد. کلیه آبراهه‌های این حوضه موقتی بوده و آبراهه دائمی ندارد. روند غالب آبراهه‌های موجود در این حوضه غربی- شرقی می‌باشند. حوضه آبخیز قوچک – رودک در مجموع کوهستانی با ارتفاع متوسط بوده و اراضی موجود نیز عموماً مرتعی هستند. حداکثر ارتفاع موجود در این حوضه ۳۳۰۹ متر می‌باشد (شکل ۱). در این پژوهش ابتدا کلیه مطالعات لازم جهت برآورد رواناب و همچنین شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب انجام شد. در انجام این مهم از داده‌های ثبت شده ایستگاه هیدرومتری رودک و آمار ایستگاه هواشناسی استفاده گردید. در مرحله بعد نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه تهیه شد سپس با استفاده از برنامه الحاقی Arc Hydro حوضه مورد مطالعه به زیرحوضه هایی تفکیک شد و با استفاده از الحاقیه HEC-geoHMS مدل حوضه تهیه شد. در این پژوهش جهت مدل‌سازی هیدرولوژیکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پارامترها و داده‌های ورودی و اولیه مدل برآورد گردید و در ادامه به منظور اعتبارسنجی مدل ۵ واقعه بارش - رواناب از ایستگاه هیدرومتری رودک استخراج و بعد از مدل‌سازی مقدار دبی مشاهده‌ای با مقدار دبی برآورد شده توسط مدل مورد مقایسه قرار گرفت.

برآورد شماره منحنی حوضه (CN): برای بدست آوردن CN که به خصوصیات نفوذپذیری خاک حوضه مربوط می‌شود ابتدا بایستی گروه هیدرولوژیکی خاک مشخص شده و سپس با بررسی وضعیت کاربری در سطح حوضه آبخیز بر اساس جداول استاندارد که در کتب معتبر موجود است مقدار این پارامتر تخمین زده شود. نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه مورد مطالعه از سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران تهیه شده است. با توجه به نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک، حوضه آبخیز قوچک- رودک دارای دو گروه B و C می‌باشد. پارامتر دیگر دخیل در بدست آوردن CN وضعیت کاربری اراضی و پوشش گیاهی است. برای نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز قوچک – رودک ابتدا با استفاده از نقشه‌های موجود کاربری اراضی و بهره‌گیری از نرم افزار Google Earth محدوده اولیه کاربری‌های موجود در حوضه مشخص گردید سپس بر حسب لزوم برای بعضی مناطق با بازدید میدانی نوع کاربری محدوده‌های مشخص شده کنترل شد. در نهایت نقشه کاربری اصلاح شده شامل چهار نوع کاربری متفاوت به دست آمد بیشترین سطح کاربری مربوط به مراتع با تراکم متوسط می‌باشد که ۲۲/۹۱ کیلومتر مربع وسعت دارد. مساحت هر یک از کاربری‌ها در سطح حوضه در جدول ۱ آمده است.

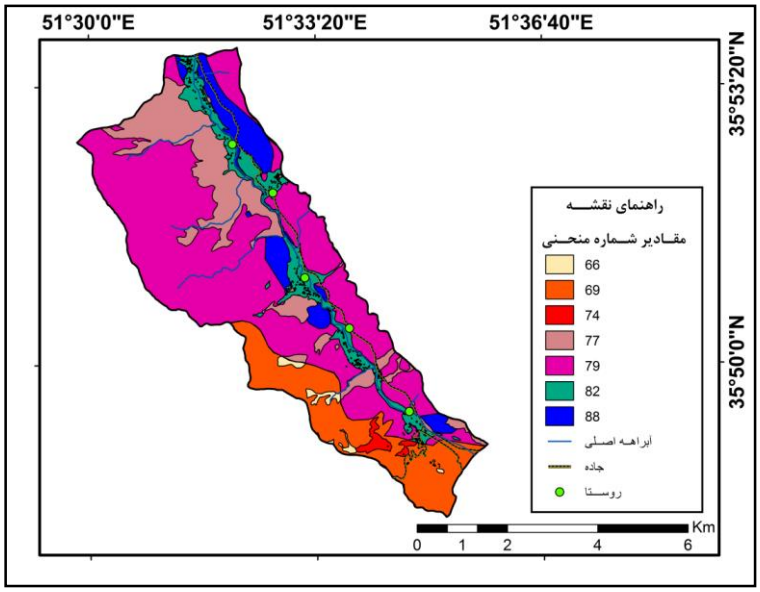
جدول ۱: مساحت و نسبت هر یک از کاربری‌ها در سطح حوضه آبخیز قوچک- رودک

نوع کاربری				
زراعت (آبی)	درختکاری	باغ	مراتع	مساحت هر یک از کاربری‌ها به KM^2
۲/۳۲	۵/۵۹	۳/۰۴	۲۲/۹۱	
۶/۸۴	۱۶/۴۹	۸/۹۷	۶۷/۶۲	درصد مساحت

در مرحله بعد باید لایه اطلاعات کاربری اراضی با لایه اطلاعاتی گروه هیدرولوژیکی خاک حوضه آبخیز که با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی حاصل شده همپوشانی داده شود و مقدار شماره منحنی (CN) برای هر نوع کاربری سپس در گروه‌های هیدرولوژیکی مختلف و با شرایط رطوبت پیشین متوسط خاک، با استفاده از جداول مرتبط (علیزاده، ۱۳۸۷) به تفکیک محاسبه گردد (جدول ۲ و شکل ۲). انجام این فرایند از مشخصه‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌باشد که به طرق دیگر امکان‌پذیر نیست و یا بسیار مشکل و زمان‌بر است.

جدول ۲: مقادیر شماره منحنی حوضه آبخیز قوچک- رودک

گروه خاک / کاربری	B	C	میانگین CN
زراعت	-	۸۸	۸۸
مرتع	۶۹	۷۹	۷۴
باغ	۷۴	۸۲	۷۸
درختکاری	۶۶	۷۷	۷۱/۵



شکل ۲: نقشه شماره منحنی (CN) حوضه آبخیز قوچک

برآورد اولیه پارامترهای مدل: مدل HEC- HMS یک مدل رایانه‌ای مناسب جهت ارائه سیستم آب‌شناسی است که توسط گروه مهندسین ارتش آمریکا عرضه شده است. ساختار مدل HEC- HMS شامل ۳ بخش اصلی می‌باشد که عبارتند از الف) مدل حوضه، ب) مدل هواشناسی، ج) شاخص کنترلی زمان (USACE, 1972). داده‌های مورد نیاز مدل در جدول ۳ آورده شده است.

الف) مدل حوضه: در این بخش، حوضه به طور شماتیک به مدل معرفی گردیده که شامل زیرحوضه ها، اتصال آنها به یکدیگر و بازه‌ها می‌باشند. سپس باید روش مناسبی برای تعیین تلفات اولیه رواناب، آب پایه و ردیابی سیل در رودخانه انتخاب شود و اطلاعات فیزیکی حوضه آبخیز وارد گردد. در این مدل روش‌های متعددی برای برآورد تلفات وجود دارد. در این تحقیق از روش تلفات شماره منحنی SCS- CN استفاده شده است.

ب) مدل هواشناسی حوضه: در این بخش باید داده‌های بارندگی و تبخیر و تعرق برای شبیه‌سازی حوضه وارد گردند. مدل هواشناسی که در این مطالعه استفاده شده است، روش هایتوگراف سفارشی می‌باشد. در این تحقیق، از داده‌های ایستگاه بارانسنجی و هیدرومتری رودک استفاده شده است و مقدار رواناب حاصل از بارش سالانه (۱۳۹۱-۱۳۹۰) برآورد گردید.

ج) شاخص‌های کنترلی: در این بخش، تاریخ و ساعت شروع و پایان شبیه‌سازی و فواصل زمانی مورد نظر به مدل معرفی گشته‌اند. کار اصلی مشخصه‌های کنترل، کنترل سرعت و دقت محاسبات می‌باشد. لازم به ذکر است که گام زمانی انتخابی در مدل باید از ۰/۲۹ زمان تأخیر حوضه کمتر باشد (قشقایی زاده، ۱۳۹۱). در این پژوهش به دلیل اینکه شبیه‌سازی در دوره آماری ۱۳۹۱- ۱۳۹۰ انجام می‌شود، لذا از گام زمانی ۲۴ ساعته در انجام محاسبات استفاده شده است.

محاسبه زمان تمرکز: زمان تمرکز یعنی مدت زمان رسیدن رواناب دورترین نقطه حوضه به نقطه خروجی که روش-های متعددی برای محاسبه زمان تمرکز حوضه‌های آبخیز ارائه شده است که در این پژوهش از معادله کالیفرنیا رابطه ۱ به واسطه تأیید عملکرد آن در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. براساس روش کالیفرنیا زمان تمرکز حوضه آبخیز قوچک ۲ ساعت و ۲۶ دقیقه می باشد.

رابطه ۱)

$$Tc = 0.885 \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

که در آن T_c زمان تمرکز بر حسب ساعت، L طول بزرگترین مسیر آب حوضه کیلومتر و H اختلاف ارتفاع بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه حوضه به متر.

محاسبه زمان تأخیر: زمان تأخیر، فاصله زمانی بین مرکز ثقل بارش مازاد و مرکز ثقل هیدروگراف می‌باشد و غالباً به جای آن، زمان تأخیر تا اوج در نظر گرفته می‌شود که فاصله زمانی بین مرکز ثقل بارش مازاد و نقطه اوج می-باشد (مهدوی، ۱۳۹۰). سازمان حفاظت خاک آمریکا، رابطه ۲ را برای محاسبه زمان تأخیر حوضه پیشنهاد داده است:

رابطه ۲)

$$Tl = 0.6\,Tc$$

t_c زمان تمرکز بر حسب ساعت و t_l زمان تأخیر بر حسب ساعت.

اعتبارسنجی مدل HEC-HMS: برای استفاده از مدل در شبیه‌سازی حوضه، باید اعتبارسنجی مدل برای حوضه‌هایی که دارای آمار بارش - رواناب هستند با موفقیت انجام گیرد. در این پژوهش به منظور تهیه هیدروگراف بارش- رواناب ابتدا برای اجرای مدل از داده

بارش سالانه (۱۳۹۱- ۱۳۹۰) حوضه آبخیز رودک استفاده شده است سپس جهت اعتبارسنجی از داده‌های مربوط به ۵ رویداد بارش- رواناب ایستگاه هیدرومتری رودک استفاده شده است. و در مرحله بعد میزان دبی اوج پیش محاسبه شده توسط مدل با مقدار رواناب مشاهده شده توسط ایستگاه هیدرومتری واقع در منطقه مورد مقایسه قرار گرفته است.

برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبخیز قوچک - رودک

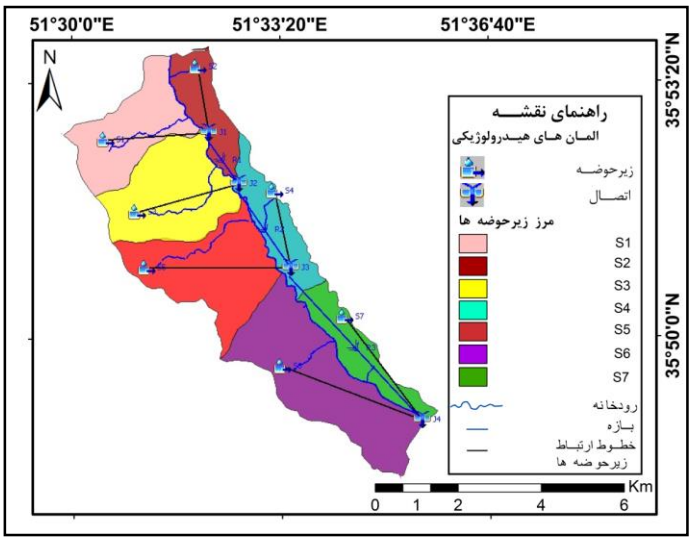
برای بررسی خصوصیات فیزیوگرافی با توجه به اینکه حوضه آبخیز قوچک - رودک خود یکی از زیرحوضه های شمیرانات می‌باشد لذا برای اجرای مدل برخی خصوصیات فیزیوگرافی نظیر مساحت محیط، طول آبراهه اصلی، شماره منحنی، نگهداشت خاک و زمان تمرکز و تأخیر حوضه مطابق جدول ۳ آورده شده است.

نتایج

جدول ۳: برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه

نام حوضه	مساحت Km^2	محیط Km	طول آبراهه اصلی M	شماره منحنی	نگهداشت خاک	زمان تمرکز Min	زمان تأخیر Min
قوچک - رودک	۳۳/۸۸	۳۱/۸۹	۸۴۹۵/۱۷	۸۷/۴	۷۵/۷	۱۳۵/۳	۸۱/۶

اجرای مدل برای حوضه مورد مطالعه: برای اجرای مدل حوضه ابتدا زیرحوضه‌ها، بازه‌ها و نحوه اتصال آنها به هم، مشخصات زیرحوضه ها شامل مساحت، شماره منحنی، تلفات اولیه رواناب، آب پایه و زمان تمرکز وارد مدل گردید. بعد از وارد کردن اطلاعات ورودی مدل اجرا شد. این مدل در نهایت شامل ۷ زیرحوضه، ۳ بازه و ۴ گره گردید. شکل ۳ نمایی از مدل حوضه در محیط نرم افزار HEC- geoHMS می‌باشد.

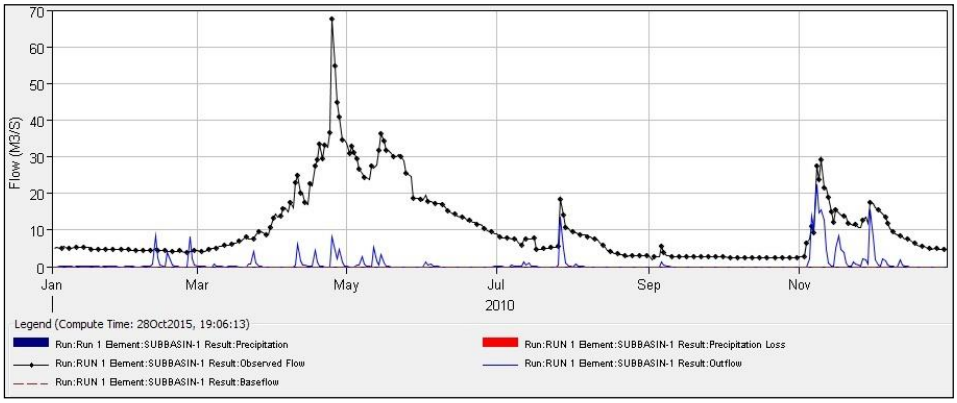


شکل ۳: نقشه مدل حوضه آبخیز قوچک با استفاده از نرم افزار HEC- geoHMS

برآورد رواناب با استفاده از مدل HEC- HMS: پس از وارد کردن داده‌های سری زمانی و تکمیل مدل حوضه، مدل هواشناسی و مشخصه کنترل، مدل HEC-HMS برای داده‌های مشاهده شده بارش سالانه (۱۳۹۱- ۱۳۹۰) ایستگاه بارانسنجی رودک اجرا شده و هیدروگراف شبیه-سازی شده به دست آمده است. حوضه در شرایط رطوبتی متوسط بوده است. فواصل زمانی ثبت بارش ۲۴ ساعته (یک روز) بوده است. جدول ۴ محاسبات حاصل از اجرای مدل را برای بارش سالانه حوضه آبخیز رودک نشان می-دهد. همچنین هیدروگراف شبیه‌سازی شده حوضه در شکل ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۴: نتایج شبیه سازی بارش - رواناب (بارش سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰) حاصل از اجرای مدل HEC- HMS حوضه آبخیز قوچک - رودک

مجموع بارش سالانه mm	مقدار رواناب برآورد شده mm	هدررفت بارش mm	دبی اوج M^3/s
۸۱۶/۵	۷۰۵/۹۲	۱۱۰/۵۸	۲۲/۳

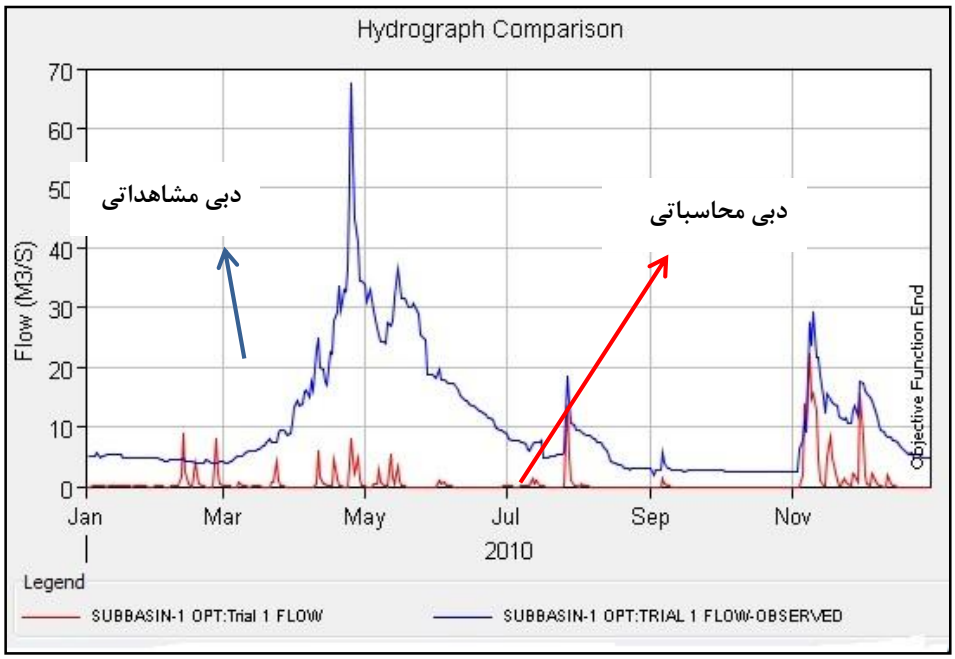


شکل ۴: هیدروگراف شبیه‌سازی شده حوضه آبخیز قوچک – رودک در دوره آماری (۱۳۹۱- ۱۳۹۰)

قله هیدروگراف در حوضه‌های کشیده، پهن‌تر از حوضه-های گرد می‌باشد و دبی سیلابی در واحد سطح آنها کمتر از سایر حوضه‌ها بوده است، در نتیجه زمان رسیدن به اوج آنها طولانی می‌باشد. برعکس حوضه‌های غیرکشیده، دبی سیلابی آنها در واحد سطح بیشتر بوده و در زمان کوتاهی به دبی اوج رسیده‌اند و آبنمود آنها نوک تیز بوده است. با توجه به هیدروگراف شبیه‌سازی شده حوضه آبخیز قوچک براساس بارندگی دوره آماری (۱۳۹۱-۱۳۹۰) (شکل ۴) می‌توان گفت که هیدروگراف حوضه مورد مطالعه، نوک تیز بوده و دبی سیلابی آن در واحد سطح، بیشتر می‌باشد. لذا در زمان کوتاه‌تری به دبی اوج می‌رسد.

جدول ۵: نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل HEC- HMS در حوضه آبخیز رودک

تاریخ رویداد	مساحت حوضه KM^2	دبی اوج مشاهده ای	دبی اوج محاسباتی	اختلاف در دبی اوج مشاهداتی و محاسباتی
۶۸/۱۲/۲۳	۳۳/۸۸	۳۱/۷۴	۲۹/۲۳	۲/۵۱
۸۰/۵/۲۰	۳۳/۸۸	۳۱/۷۵	۲۹/۲۴	۲/۵۱
۸۹/۲/۱۳	۳۳/۸۸	۵۰/۱۵۵	۴۴/۹۶	۵/۱۹
۹۰/۱/۱۷	۳۳/۸۸	۵۳/۲۸۵	۵۲/۳۵	۰/۹۳
۹۱/۱ /۲۶	۳۳/۸۸	۸۰/۵	۷۹	۱/۵



شکل ۵: هیدروگراف مشاهداتی و محاسبه‌ای حاصل از بارندگی سالانه (۱۳۹۱- ۱۳۹۰) بعد از اعتبارسنجی مدل

نتیجه گیری

نسبتاً حساس به فرسایش‌اند، می‌باشد. براساس نقشه شماره منحنی و نتایج اجرای مدل برای بارندگی سالانه می‌توان گفت که پتانسیل تولید رواناب در این حوضه نسبتاً بالا می‌باشد. در شکل ۴ نمونه‌ای از هیدروگراف مشاهده‌ای برای بارندگی سالانه (۱۳۹۱-۱۳۹۰) ارائه شده است. همچنین به منظور تعیین اعتبار مدل در حوضه آبخیز قوچک - رودک حوضه‌ای کوهستانی در استان تهران و در واقع بخشی از حوضه آبخیز سد لتیان نیز محسوب می‌گردد. این حوضه در ناحیه زمین‌شناختی البرز مرکزی، بر روی نهشته‌های کواترنری با سنگ بستر سازند کرج واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی جنس سنگ‌ها اغلب توف سبز ضخیم با رسوبات کواترنری که

که استفاده از مدل HEC- HMS به منظور برآورد رواناب بدون اعتبارسنجی غیرقابل اعتماد است. و نتایج حاصل از اجرای مدل برای حجم رواناب مناسب نمی‌باشد (شکری کوچک و همکاران، ۱۳۸۵، ۱۳۹۱). همچنین در مطالعه‌ای که توسط پور حسین قادری و محمدنژاد در حوضه آبخیز نازلوچای (ارومیه) انجام شد، نشان داد که نتایج حاصل از اجرای مدل تطابق خوب و مناسبی با واقعیت و داده‌های هیدرومتری ثبت شده در منطقه مورد نظر دارد (پورحسین قادری و محمدنژاد، ۱۳۹۲). بنابراین به طور کلی با توجه به کارایی مدل می‌توان اذعان داشت که، این مدل به دلیل قابلیت‌های بالا و امکان دسترسی آسان به روش‌های مختلف برای محاسبه پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی، مدل مناسبی جهت مطالعات (کنترل سیل و هیدرولوژی) به شرط منظور کردن پارامترهای منطقی و واسنجی می‌باشد.

برآورد رواناب حوضه مورد مطالعه از مقادیر دبی پیک (دبی اوج) مشاهده‌ای برای رگبارهای انتخاب شده استفاده شد. سپس مقادیر دبی پیک محاسباتی با مقادیر مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری رودک مورد مقایسه قرار گرفت. جدول ۵ نتایج محاسبات عددی پارامترها در مرحله اعتباریابی توسط مدل را نشان می‌دهد. بیشترین دبی پیک حوضه مذکور ۸۰/۵ مترمکعب در ثانیه مربوط به تاریخ ۹۱/۱/۲۶ می‌باشد. خطای برآورد دبی پیک توسط مدل بیش از ۲۵ درصد می‌باشد. با توجه به اختلاف بین دبی مشاهداتی و محاسباتی و همچنین بررسی هیدروگراف حاصل از بارندگی سالانه، می‌توان نتیجه گرفت که ارزیابی مدل در طول مراحل مناسب نبوده است و نتایج اعتبارسنجی مدل در ارتباط با کارایی مدل مذکور در برآورد رواناب و دبی اوج سیلاب مورد پذیرش نمی‌باشد. در تحقیقی که توسط شکری کوچک و همکاران در حوضه آبخیز ایدنک انجام شد، نشان داد

منابع

-امیر احمدی، ا. و شیران، م.، ۱۳۸۸. کاربرد مدل HEC-HMS در تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی موثر بر سیلاب دشت کرون، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص۱۵۳-۱۷۳.

-ثقفیان، ب. و فرازجو، ح.، ۲۰۰۷. تعیین مناطق مولد سیل و اولویت سیلخیزی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد گلستان، مجله علمی- پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۱، شماره۱، ص ۱-۱۱.

-چیداز، آ.، محسنی ساروی، م. و وفاخواه، م.، ۱۳۸۸. ارزیابی مدل HEC-HMS به منظور برآورد هیدروگراف سیلاب در حوضه آبخیز کسیلیان، مجله پژوهش‌های آبخیزداری، جلد ۵، ص ۷۱-۸۴.

-خسروشاهی، م. و ثقفیان، ب.، ۲۰۰۳. تعیین حساسیت اثر برخی از عوامل مؤثر بر سیلخیزی زیرحوضه های آبخیز با استفاده از تحلیل هیدروگراف های خروجی حوضه و کاربرد مدل HEC- HMS، مجله جنگل و مرتع، شماره ۶۷، ص ۳۲- ۴۴.

-دستورانی، م.، خداپرست، ت.، طالبی، ر.، وفاخواه، ع. م. و دشتی، ج.، ۱۳۸۹. ارزیابی و واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز با استفاده از نرم افزار HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد طرق مشهد)، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، ص۱-۸.

-شکری کوچک، س.، بهنیا، ع. ا.، رادمنش، ف. و آخوند علی، ع. م.، ۱۳۹۰. تخمین آبنمود سیلاب

حوضه آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه ایدنک)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال سوم، شماره ۵، ص ۶۳- ۸۸.

-کریمی، م.، غفاری، گ. و عزیزیان، م.، ۱۳۹۰. شبیه سازی فرآیند بارش - رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز لیقوان)، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ص ۱-۱۲.

-علیزاده، ا.، ۱۳۸۷. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ هشتم، ۸۱۱ ص.

-غلامی، و.، بشیر گنبد، م. و جوکار، ع.، ۱۳۸۸. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی در ایجاد رواناب و خطر سیلاب حوضه آبخیز کسیلیان، مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری، شماره ۳، ص ۵۵-۵۷.

-قشقایی زاده، ن.، ۱۳۹۱. واسنجی و اعتباریابی مدل HEC- HMS و آنالیز حساسیت آن در برآورد مشخصه-های هیدروگراف سیلاب (مطالعه موردی: حوضه جاماش استان هرمزگان)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پردیس دانشگاهی قشم.

-مهدوی، م.، ۱۳۹۰. هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران. جلد ۲، ۱۴۷ ص.

-نشاط، ع. و صدقی، ح.، ۱۳۸۵. برآورد میزان رواناب با استفاده از روش حفاظت خاک آمریکا (SCS) و مدل HEC-HMS در حوضه آبخیز باغ ملک-استان خوزستان، مجله علمی پژوهشی مجله علوم کشاورزی، شماره ۴، ص ۷۸۶- ۷۹۸.

-نصری، م. و سلیمانی، ف.، ۱۳۹۰. شبیه‌سازی جریان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه سد شیخ بهایی)، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ص۱۳- ۲۶.

-Ali Mohammad, J. k., Aslam, I. and Khan, Z., 2011. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan, Landscape and Urban Planning, v. 102, p. 271–279.

-Arnaud, P., Bouvier, C., Cisneros, L. and Dominguez, R., 2001. Influence of rainfall spatial variability on flood prediction, Journal of Hydrology, v. 26, p. 216-230.

-Chen, Y., Xu, Y. and Yin, Y., 2009. Impacts of land use scenarios on storm run off generation in Xitiaoxi basin China, Journal of Hydrology, v. 28(1-4), p.1-8.

-Emerson, CH., Welty, C. and Traver, R.G., 2003. Application of HEC-HMS to model the additive effects of multiple detention basins over a range of measured storm volumes, Civil Engineering Database, Part of world water & Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia.

-Garcia, A., Sainz, A., Revilla, J. and Alvarez, C., 2008. Surface Water Resources Assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain, Journal of Hydrology,v. 356, p. 312-326.

-Hongming, H., Zhou, J., Peart, M. R., Chen, J. and Zhang, Q., 2012. Sensitivity of hydrogeomorphological hazards in the Qinling Mountains, China, Quaternary International, v. 282, p. 37-47.

-Johnson, C., Yung, A., Nixon, K. and Legates, D., 2001. The Use of HEC-GeoHMS and HEC-HMS to Perform Grid-based Hydrologic Analysis of a Watershed, Dodson & Associated, inc., Texas, 278 p.

-Kafle, T.P., Hazarika, M.K., Karki, S., Shrestha, R.M., Sharma, R. and Samarakoon,

-Tingsanchali, T. and Tanmanee, S., 2012. Assessment of Hydrological Safety of Mae Sruai Dam, Thailand, p. 1198-1204.
-US Department of Agriculture, Soil Conservation Service (USDA, SCS)., 1972. Hydrology, National Engineering Handbook, Section 4.
L., 2007. Basin scale rainfall runoff modeling for flood forecasts, 5th Annual Mekong flood Forum, Vietnam.
-Stone, B.S., 2001. Geospatial Database and Preliminary Flood Hydrology Model for the Lower Colorado Basin, 173 P.