

## ارزیابی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در تخمین هیدروگراف سیل مناطق خشک و مرطوب

حسین یوسفی<sup>۱\*</sup>، محمد گلشن<sup>۲</sup>، عبدالله پیرنیا<sup>۲</sup>

۱. استادیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

۲. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۵/۳۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۱۰/۱۴)

## چکیده

برای مدیریت مناسب رویدادهای طبیعی مانند سیل، استفاده از مدل‌های کامپیوتری به‌طور سریع در حال توسعه است و این مدل‌ها ابزارهای ضروری برای فهم انسان از فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز و مدیریت آن هستند. در این تحقیق با هدف مدیریت مناسب سیل مناطق خشک و مرطوب کارایی مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی وقایع مختلف سیل بررسی شد. به این منظور سه واقعه سیل در حوضه آبخیز کسلیان با مساحت ۶۷/۸ کیلومترمربع با اقلیم مرطوب و سه واقعه سیل در حوضه آبخیز کارده با مساحت ۹۳/۲ کیلومترمربع با اقلیم کاملاً خشک در نظر گرفته شد. داده‌های هیتوگراف بارش بر پایه گام زمانی دقیقه‌ای و داده‌های هیدروگراف سیل مربوط به هر واقعه به مدل وارد شدند. سپس، تخمین هیدروگراف سیل بر پایه گام زمانی ۳۰ دقیقه‌ای انجام شد. آنالیز حساسیت پارامترها با استفاده از روش آزمون و خطا نشان داد پارامتر CN نسبت به سایر پارامترها حساسیت زیادی دارد و این حساسیت در منطقه خشک نسبت به منطقه مرطوب بیشتر است. نمایه‌های آماری ضریب همبستگی ( $R^2$ )، ضریب نش-ساتکلیف (NS) و مجموع مربعات خطا (CP) بر حسب مترمکعب بر ثانیه برای ارزیابی کارایی مدل استفاده شد. مقادیر این نمایه‌ها در حوضه آبخیز کسلیان برای سیلاب‌های شبیه‌سازی شده به ترتیب بین ۰/۸۴ تا ۰/۹۳، ۰/۷۸ تا ۰/۸۱ و ۹۶/۱۳ تا ۱۸۸ و در حوضه آبخیز کارده مقادیر این نمایه‌ها به ترتیب بین ۰/۷۶ تا ۰/۸۹، ۰/۷۱ تا ۰/۷۵ و ۱۱۳/۴ تا ۲۱۶/۷ به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد مدل HEC-HMS در هر دو حوضه آبخیز دقت مناسبی دارند و در حوضه آبخیز منطقه مرطوب نسبت به منطقه خشک کارایی این مدل برای مدیریت وقایع سیل نسبتاً بیشتر است.

کلیدواژگان: سیلاب، شبیه‌سازی، هیدروگراف، کارده، کسلیان.

## مقدمه

مدیریت بحران فرایندی برای پیشگیری از بحران یا به کمترین حد رساندن آثار آن هنگام وقوع است [۱]. این نوع مدیریت بدترین حالت را برای برنامه‌ریزی و سپس روش‌هایی را برای اداره و حل آن جست‌وجو می‌کند [۲]. اگر بحران به‌آرامی اتفاق بیفتد، آن را بحران تدریجی و اگر به‌سرعت رخ دهد، آن را بحران ناگهانی می‌گویند [۳]. حوادث مربوط به رخدادهایی مانند زلزله و آتش‌سوزی جزء بحران‌های ناگهانی هستند، ولی بلایایی مانند افزایش سیل در حوضه‌های آبخیز جزء بلایای تدریجی هستند که طی زمان به‌صورت تدریجی افزایش می‌یابند و سبب ایجاد خسارت‌های زیاد و جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی می‌شوند. به‌منظور مدیریت حوضه آبخیز و جلوگیری از بروز ناسازگاری در اقدامات طراحی شده در سطح حوضه آبخیز به مدلی نیاز است که با توجه به اطلاعات و شرایط موجود، کارایی شبیه‌سازی دبی جریان خروجی از منطقه را داشته باشد [۴]. ارزیابی دقیق هیدروگراف سیل آثار اقتصادی درخور توجهی دارد، به‌طوری که در مسائل مربوط به مدیریت منابع آب، کنترل آلودگی، طرح‌های مهندسی آب، مصارف کشاورزی و حفظ و بهره‌وری مناسب از منابع طبیعی ضروری به‌نظر می‌رسد [۵]. دسترسی ضعیف به مطالعات هیدرولوژیکی برای حوضه‌های آبخیز به برنامه‌ریزی و مدیریت نکردن منابع آبی منجر می‌شود. مطالعات پیچیدگی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبخیز اساساً بر اساس درک ویژگی‌های بارش و خصوصیات حوضه هستند [۶]. تخمین مقدار رواناب ایجادشده در حوضه‌های آبخیز و همچنین پیش‌بینی انواع فرایندهای هیدرولوژیکی، که در برخی از مناطق نیز با پیچیدگی‌های خاصی همراه است، یکی از موضوعات مهم در مطالعات هیدرولوژیکی است که با به‌دست‌آوردن آنها، مبنای اطلاعاتی لازم برای بسیاری از طرح‌های منابع آب، آبخیزداری و نیز بسیاری از طرح‌های مرتبط پایه‌ریزی می‌شود [۷]. بنابراین، تخمین رواناب و پیش‌بینی‌های لازم در مسائل هیدرولوژیکی و نیز مدیریت مناسب در زمینه منابع طبیعی اهمیت زیادی دارد. روش‌های نوین در مدل‌سازی و نرم‌افزارهای موجود سبب افزایش سرعت و کاهش زمان اجرای محاسبات شده، به‌طوری که پژوهش‌ها و مطالعات مربوط به مسائل مدیریت سیل از دهه ۱۹۵۰ به‌گونه چشمگیری افزایش یافته است [۸].

۱۰. مدل‌های مفهومی اجزای هیدرولوژیکی را از طریق

ساده‌سازی مفاهیم فیزیکی مرتبط با چرخه هیدرولوژیکی توصیف می‌کنند [۱۱] و مدل‌های مختلفی با این مفهوم توسعه یافته‌اند که می‌توان به مدل‌های سرویس حفاظت خاک (SCS) توسعه‌یافته به‌وسیله [۱۲USDA]، NAM [۱۳]، [۱۴TANK]، [۱۵HEC-HMS]، [۱۶SWAT]، [۱۷TOPMODEL]، [۱۸] و [۱۹IHACRES] اشاره کرد.

مدل HEC-HMS<sup>۱</sup> با داشتن تنوع زیر مدل‌های موجود موجود در آن، کارایی و کاربرد وسیعی در بسیاری از نقاط دنیا دارد [۲۰]. این مدل نسخه توسعه‌یافته HEC-1 تحت ویندوز است که توسط مهندسان هیدرولوژی مرکز مهندسی ارتش آمریکا<sup>۲</sup> برای همانندسازی رواناب سطحی یک حوضه آبخیز نسبت به بارندگی معین طراحی شده است [۲۱]. این مدل، حوضه آبخیز را به‌عنوان یک سیستم به‌هم‌پیوسته با مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد که با استفاده از این مدل می‌توان اهداف مدیریتی را برای حوضه‌های آبخیز اجرا کرد، که در این تحقیق با استفاده از مدل یادشده اقدام به تعیین پارامترهای حساس در ایجاد سیل و تخمین هیدروگراف سیل در مناطق خشک و مرطوب پرداخته شده است.

## پیشینه تحقیق

مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در بسیاری زمینه‌ها مانند مدیریت سیلاب شهری، دوره بازگشت سیل، مقادیر دبی اوج، ظرفیت سرریز مخزن و نگه‌داشت رودخانه کاربرد دارد [۲۲]. در این زمینه، مطالعات مختلفی در داخل و خارج کشور انجام شده است. ثقفیان و فرازجو [۲۳] در حوضه آبخیز سد گلستان بعد از تعیین واحدهای هیدرولوژیکی، در خروجی این واحدها با استفاده از هیدروگراف واحد SCS در مدل HEC-HMS اقدام به شبیه‌سازی هیدروگراف سیل کردند و با مقایسه دبی اوج مشاهداتی در خروجی حوضه‌ها با دبی شبیه‌سازی‌شده، کارایی مدل مورد قبول ارزیابی شد. سبزواری و همکارانش [۲۴] در حوضه آبخیز کسلیان واقع در استان مازندران با هدف تعیین هیدروگراف سیل در مناطق بدون آمار از روش SCS و مدل HEC-HMS استفاده کردند. خطای میانگین برای رویدادهای شبیه‌سازی‌شده به‌طور میانگین ۱۰ تا ۱۵

1. Hydrological Modeling System  
2. Hydrologic Engineering Center (HEC)

سیلاب‌ها به ترتیب برابر با ۳۴/۲ و ۶۳/۹ به دست آمد، که نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل در این حوضه است. رضازاده و همکارانش [۲۸] عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی SWAT و HEC-HMS را به منظور شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه حوضه آبخیز آب‌بخشا مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها بیان می‌کند که مدل SWAT نسبت به مدل HEC-HMS عملکرد بهتری دارد و مهم‌ترین دلایل این امر را، داشتن مولد اقلیمی و امکان به‌کارگیری واحد پاسخ هیدرولوژیک در مدل SWAT دانسته‌اند.

در زمینه مدل‌سازی هیدرولوژیک با استفاده از مدل HEC-HMS در خارج از کشور نیز پژوهش‌هایی انجام شده است. در تحقیقی جو و همکارانش [۲۹] کارایی دو مدل واقعه‌ای HEC-HMS و ReFH در دو حوضه آبخیز واقع در کره جنوبی را مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل ReFH در حوضه بزرگ توانایی شبیه‌سازی هیدروگراف را ندارد، ولی مدل HEC-HMS توانایی شبیه‌سازی رواناب در هر دو حوضه را دارد. در مطالعه‌ای لاچری و منصور [۳۰] کارایی مدل نیمه‌توزیعی HEC-HMS و مدل WBNM در شهر آزابار واقع در شمال شرقی الجزایر را مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل WBNM قابلیت شبیه‌سازی هیدروگراف مشاهداتی را ندارد در حالی که مدل HEC-HMS با دقت مناسبی هیدروگراف مشاهداتی را شبیه‌سازی کرده است. روی و همکارانش [۳۱] در حوضه آبخیز سوبارخانیای واقع در غرب هند، به کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS اقدام کردند. مقدار ضریب نش-ساتکلیف<sup>۲</sup> برای رویدادهای شبیه‌سازی شده بر پایه گام زمانی روزانه بین ۰/۷۵ و ۰/۸۴ به دست آمده که نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل در این منطقه است. در پژوهشی ابوشندانی و مرکل [۶] هیدروگراف سیل با استفاده از مدل HEC-HMS در یک حوضه آبخیز خشک (وادی) واقع در اردن را شبیه‌سازی کردند. ضریب نش-ساتکلیف در سیلاب تاریخ ۲۹ ژانویه ۲۰۰۸ معادل ۰/۸۴ به دست آمد که نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل در این منطقه خشک است. همچنین، می‌توان به کاربرد مدل برای ارزیابی دبی اوج و حجم رواناب حوضه‌های کشاورزی [۳۲]، ارزیابی تأثیر تغییرات

درصد به دست آمد که مقادیر قابل قبولی است، اما در تحقیق حاضر به تأثیر نوع اقلیم بر کارایی مدل مطالعاتی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل مناطق خشک و مرطوب پرداخته شده است، که به این منظور حوضه آبخیز معرف کسلیان با اقلیم مرطوب و حوضه آبخیز کارده با اقلیم خشک انتخاب و هیدروگراف سیل مربوط به چندین واقعه بارشی در این مناطق مطالعه شد. عباسی و همکارانش [۲۲] در زمینه بررسی تأثیر فعالیت‌های آبخیزداری در زمان تمرکز و شماره منحنی حوضه با بهره‌گیری از مدل HEC-HMS در حوضه آبخیز کن تهران مطالعه‌ای را انجام دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد فعالیت‌های زیستی سبب کاهش شماره منحنی، به‌طور میانگین به میزان ۳/۱ شماره شده است و این کاهش به کاهش دبی اوج و حجم سیلاب به ترتیب به میزان ۰/۲۱ و ۰/۱۱ منجر شده است. همچنین، در مطالعه‌ای بهنام و همکارانش [۲۵] با استفاده از مدل HEC-HMS اثر تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل رودخانه زاینده‌رود را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل حوضه زاینده‌رود، که یک منطقه خشک و نیمه‌خشک است، کارایی مناسبی دارد و مقدار دبی اوج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در این حوضه به ترتیب ۲۸/۵۵ و ۲۸/۵۰ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد. غلامی و درواری<sup>۱</sup> [۲۶] شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب را با به‌کارگیری دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و HEC-HMS در حوضه آبخیز کسلیان انجام دادند. پس از بهینه‌سازی هدررفت اولیه در مدل HEC-HMS، این عامل در شبکه عصبی مصنوعی همراه با میزان بارش به صورت جزء-به‌جزء به عنوان ورودی برای شبیه‌سازی مقدار دبی یا رواناب وارد شد. نتایج بیان‌کننده کارایی زیاد این روش و تأثیر بسیار مطلوب این عامل در افزایش دقت شبیه‌سازی رواناب و آبنمود سیلاب تا حدود دو برابر برای برخی وقایع است. وهاب‌زاده و همکارانش [۲۷] در حوضه آبخیز آجرلو واقع در آذربایجان غربی به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی با استفاده از مدل HEC-HMS اقدام کردند، دبی اوج مشاهداتی برای سیلاب سال ۱۳۵۵ و ۱۳۷۸ به ترتیب برابر با ۳۷/۵ و ۶۲/۷ و دبی اوج شبیه‌سازی شده برای این

عرض جغرافیایی شمالی ۴۵° ۳۶' تا ۵۵° ۳۶' و طول جغرافیایی شرقی ۳۳° ۵۹' تا ۴۰° ۵۹' در خراسان رضوی واقع شده است و بخش وسیعی از حوضه را اراضی صحرایی و مرتعی تشکیل داده است. حوضه آبخیز کسلیان نیز با مساحت ۶۷/۸ کیلومترمربع در محدوده ۱۸' ۵۳° تا ۳۰' ۵۳° درجه طول شرقی و ۷' ۳۵° تا ۳۶° درجه عرض جغرافیایی واقع شده است، که در ارتفاعات مرکزی سلسله کوه‌های البرز در شرق استان مازندران قرار گرفته است (شکل ۱). کمترین ارتفاع منطقه، در حوضه آبخیز کارده و کسلیان به ترتیب ۱۵۶۰ و ۱۱۰۵ و بیشترین ارتفاع منطقه به ترتیب ۲۷۴۰ و ۳۱۶۳ متر است، همچنین در مناطق مطالعاتی میانگین شیب آبراهه اصلی به ترتیب ۱۸ و ۱۳ درصد و طول آبراهه اصلی ۲۱/۱۰ و ۱۶/۴ کیلومتر است. متوسط سالانه دبی جریان در حوضه آبخیز کسلیان ۰/۴۴۱ و در حوضه آبخیز کارده ۰/۱۶۴ مترمکعب بر ثانیه است. میانگین بارندگی سالانه حوضه آبخیز کارده ۲۲۰ میلی‌متر و میانگین دمای حوضه ۲۲ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، میانگین بارندگی سالانه حوضه آبخیز کسلیان ۷۹۱ میلی‌متر و میانگین دمای حوضه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. سطح عمده حوضه آبخیز کسلیان پوششی از جنگل، مرتع و زمین‌های زراعی دارد [۲۴]، نقشه کاربری اراضی مربوط به حوضه‌های مطالعاتی در شکل ۲ آورده شده است.

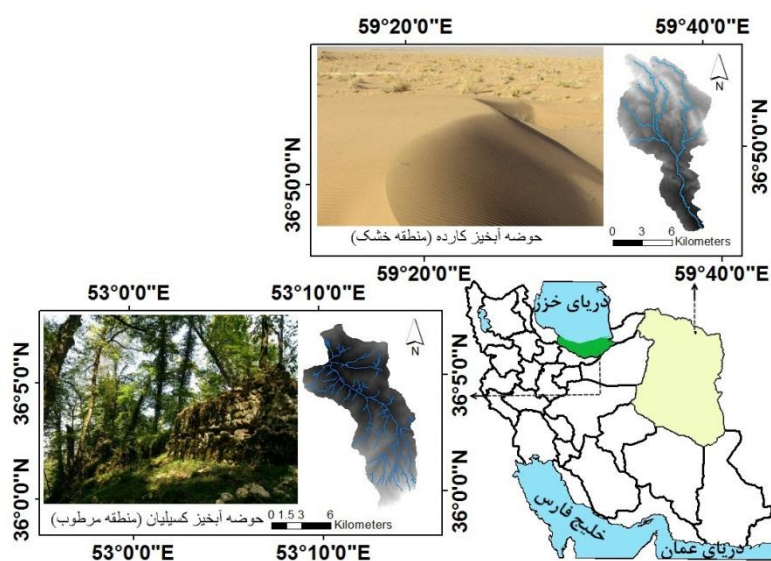
کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل [۳۳] و ارزیابی تأثیر احداث سد بر دبی جریان اشاره کرد [۳۴].

با توجه به مطالب یادشده، مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی دبی جریان و مدیریت سیلاب کاربرد زیادی دارد. با توجه به اینکه اقلیم ایران تنوع زیادی دارد و کارایی هر مدل در اقلیم‌های مختلف متفاوت است، هدف از انجام این تحقیق اجرای مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه آبخیز مناطق خشک و مرطوب کشور برای مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز است. به این منظور با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، حوضه آبخیز مرطوب کسلیان در استان مازندران و حوضه آبخیز خشک کارده در استان خراسان رضوی انتخاب شدند. نتایج این تحقیق می‌تواند در مدیریت حوضه‌های آبخیز و همچنین در انتخاب مدل هیدرولوژیکی مناسب برای حوضه‌های آبخیز استفاده شود.

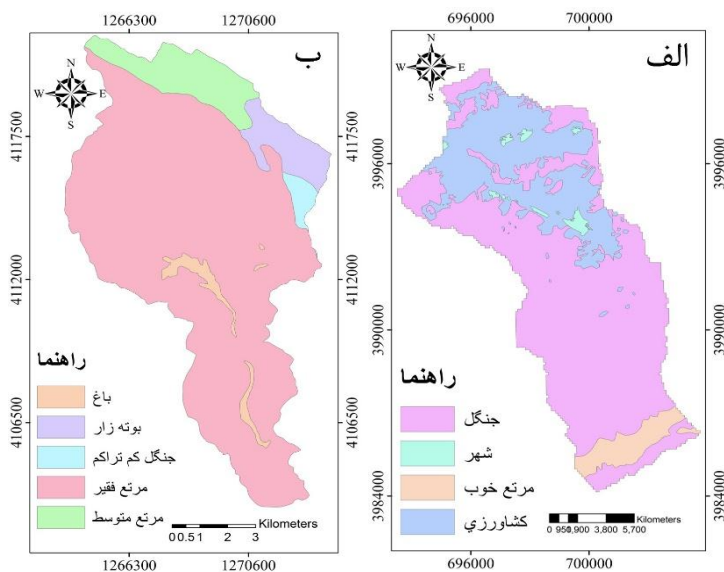
## مواد و روش

### منطقه مطالعه شده

در این پژوهش به منظور اجرای مدل برای تخمین هیدروگراف سیل و بررسی هیدروگراف سیل در مناطق خشک و مرطوب نیاز به برداشت‌های آماری مربوط به هر واقعه است. بنابراین، حوضه‌های آبخیز کسلیان و کارده به عنوان حوضه‌های مطالعاتی انتخاب شدند. حوضه آبخیز کارده، مساحتی معادل با ۹۳/۲ کیلومترمربع دارد و بین



شکل ۱. موقعیت مناطق مطالعه شده در کشور



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز: الف) کسلیان، ب) کارده

ایستگاه‌های هیدرومتری تهیه شد (جدول ۱). شایان یادآوری است که برای جداسازی هر سیلاب از سیلاب قبلی از روش  $0.2$  حجم دبی پیک استفاده شد. پس از بررسی آمار هواشناسی و هیدرومتری دبی‌های سیلابی رخ داده در منطقه به‌منظور ارزیابی کارایی مدل در مدیریت و شبیه‌سازی هیدروگراف سیل انتخاب شدند، به‌طوری که برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در حوضه آبخیز کارده سیلاب‌های تاریخ ۲۲ جولای ۱۹۹۷، ۸ می ۲۰۰۳ و ۱۵ می ۲۰۰۹ و در حوضه آبخیز کسلیان سیلاب‌های تاریخ ۲۹ نوامبر ۱۹۹۸، ۱۸ اکتبر ۲۰۰۲ و ۲۶ می ۲۰۰۹ انتخاب شدند. اجرای مدل در مقیاس زمانی دقیقه با گام زمانی ۳۰ دقیقه برای سیلاب‌های رخ داده در منطقه انجام شد.

#### تعیین شماره منحنی زیرحوضه‌ها

این پارامتر که بیان‌کننده پتانسیل تولید رواناب حوضه آبخیز است، از روی مشخصات خاک و عوامل پوشش گیاهی تعیین می‌شود. شماره منحنی برای هر ترکیب پوششی و خاک مقادیر متوسطی هستند [۲۷]. این پارامتر با توجه به مطالعات انجام‌شده، یکی از پارامترهای مهم در مباحث مربوط به مدیریت سیل است که در مطالعات کنترل سیل مقدار دقیق این پارامتر باید تعیین شود [۷ و ۱۷]. در این تحقیق با استفاده از جدول‌ها مربوط به تعیین CN، شماره منحنی در هر واحد چندضلعی حاصل از تلفیق نقشه کاربری اراضی، نقشه شیب و گروه هیدرولوژیکی خاک تعیین شد و برای تعیین شماره منحنی کل حوضه از روش میانگین‌گیری وزنی استفاده شد.

#### تئوری و محاسبات

##### مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

مدل HEC-HMS از انواع مدل‌های ریاضی کامپیوتری بوده که توانایی بررسی بارش-رواناب و روندیابی جریان را دارد و در مباحث مربوط به مدیریت سیل کاربرد زیادی دارد. این مدل چندین زیرمدل در بخش‌های رواناب، جریان سطحی و آب پایه دارد و برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیک حوضه آبخیز در سطح مدیریتی زیرحوضه‌ها به کار می‌رود. مدل HEC-HMS برای اجرا در یک منطقه به سه بخش اصلی به نام‌های مدل حوضه<sup>۱</sup>، مدل اقلیمی<sup>۲</sup> و شاخص‌های کنترلی<sup>۳</sup> نیاز دارد [۳۵]. در بخش زیرمدل حوضه از روش شماره منحنی برای برآورد تلفات و از روش هیدروگراف SCS برای انتقال رواناب استفاده شده است و روندیابی سیل با استفاده از روش زمان تأخیر<sup>۴</sup> صورت گرفته است و در بحث شاخص‌های کنترلی با انتخاب حوضه‌های خشک و مرطوب به شبیه‌سازی و مدیریت سیل در این مناطق پرداخته شد.

##### داده‌های بارش-رواناب

برای واسنجی مدل HEC-HMS لازم است که داده‌های مشاهداتی بارش و سیلاب متناظر آن آماده شود. بنابراین، هیتوگراف بارندگی با گام زمانی دقیقه‌ای از ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدروگراف رواناب مربوط به هر سیلاب از

1. Basin Model
2. Metrologic Model
3. Control Specification
4. Lag Time

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های استفاده‌شده در اجرای مدل

حوضه	ایستگاه	نوع	درجه طول شرقی	درجه عرض شمالی	ارتفاع (متر)
کسیلیان	سنگده	باران‌سنجی	۵۳/۲۱	۳۶/۶	۱۳۳۷
	ولیک‌بن	هیدرومتری	۵۳/۱۶	۳۶/۸	۱۱۰۶
کارده	کارده	باران‌سنجی	۵۹/۴۰	۳۷/۳۶	۱۳۰۰
	بلغور	هیدرومتری	۵۹/۳۶	۳۶/۵۱	۱۹۲۰

بیشتری مشخص شود [۳۶]. مدل HEC-HMS برای واسنجی شدن در یک منطقه بر پایه روش آزمون و خطا است که با انجام تکرارهای مختلف مقادیر بهینه برای پارامترهای مختلف تعیین شدند.

#### معیار سنجش مدل

برخی مطالعات [۳۷-۴۰]، مجموع اختلاف‌های مربع بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده (CPA) را به‌عنوان یک روش مناسب برای ارزیابی گام‌های زمانی پیشنهاد کردند. در مطالعات مربوط به شبیه‌سازی هیدرولوژیکی همچنین از روابط مربوط به ضریب همبستگی و ضریب نش-ساتکلیف نیز به‌طور گسترده استفاده می‌شود [۴، ۴۱ و ۴۲] که معادلات مربوط به این ضرایب در روابط زیر ارائه شده است:

$$CP_A = \sum_{i=1}^N [Q_i^{sim} - Q_i^{obs}]^2 \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - \bar{Q}_i^{sim})(Q_i^{obs} - \bar{Q}_i^{obs})]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - \bar{Q}_i^{sim})^2 \sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \bar{Q}_i^{obs})^2} \quad (5)$$

$$NS = 1 - \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2]}{[\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \bar{Q}_i^{obs})^2]} \quad (6)$$

در این روابط  $n$  تعداد مشاهدات،  $Q_i^{sim}$  و  $Q_i^{obs}$  مقادیر متناظر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده،  $\bar{Q}_i^{sim}$  و  $\bar{Q}_i^{obs}$  نیز میانگین ریاضی مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده است.

#### یافته‌ها و بحث

واسنجی مدل‌های بارش رواناب با توجه به داده‌های مشاهداتی قابلیت شبیه‌سازی مدل را افزایش می‌دهد [۳۰ و ۴۳]. وقتی نتایج مدل با داده‌های اندازه‌گیری‌شده مطابقت پیدا کرد، کاربر به کارایی مدل برای منطقه می‌تواند اعتماد داشته باشد [۴۴]. مقدار تغییرات دبی بر حسب تغییرات پارامترهای انتخابی به‌دست‌آمده توسط

#### شبیه‌سازی هیدروگراف

با توجه به مطالعات انجام‌شده [۲۱، ۲۳ و ۲۴]، از میان روش‌های مختلف شبیه‌سازی هیدروگراف موجود در مدل HEC-HMS، روش SCS (USDA) به‌منظور شبیه‌سازی هیدروگراف‌های سیل منطقه انتخاب شد. دو پارامتر شماره منحنی و زمان تأخیر از مهم‌ترین پارامترهایی هستند که در روش SCS استفاده می‌شوند و برای کنترل سیل و ایجاد تأخیر در به‌هم‌پیوستن هم‌زمان رواناب زیرحوضه‌ها اهمیت زیادی دارند. برای محاسبه زمان تأخیر در زیرحوضه‌ها از رابطه ۱ استفاده شد:

$$t_l = \frac{L^{1/8} [(1000/CN) - 9]^{-7/4}}{1900 S^{0.5}} \quad (1)$$

در این معادله CN شماره منحنی، L طول حوضه آبخیز بر حسب فوت و S درصد شیب حوضه است. برای شبیه‌سازی ارتفاع رواناب در گام‌های زمانی مختلف از رابطه ۲ استفاده شد. در این رابطه  $R_{day}$  مقدار بارندگی و  $Q_{surf}$  ارتفاع رواناب حاصل شده است، فاکتور S نیز درصد تلفات بارندگی را نشان می‌دهد بر حسب میلی‌متر از رابطه ۳ به‌دست می‌آید.

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 2/0.S)^2}{(R_{day} - 8/0.S)} \quad (2)$$

$$S = \frac{2540}{CN} - 254 \quad (3)$$

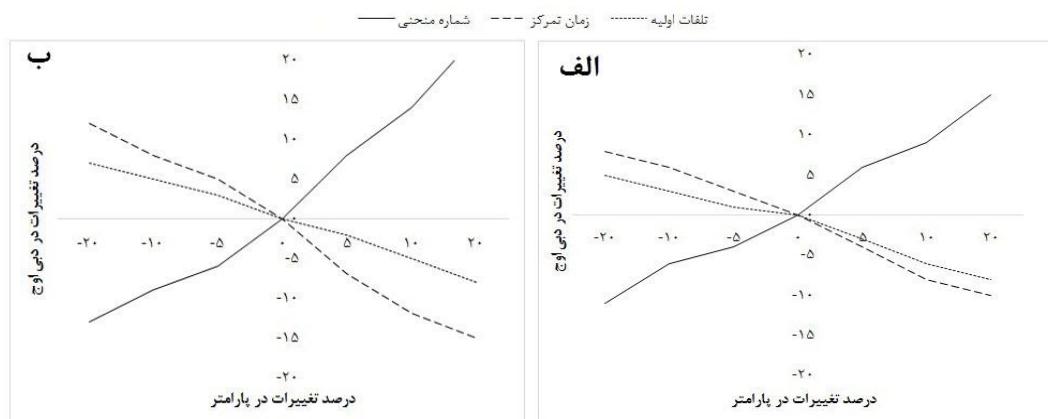
#### آنالیز حساسیت و واسنجی مدل

هر جزء از مدل HEC-HMS جنبه‌ای از فرایند بارش رواناب را در نظر می‌گیرد، که توصیف یک جزء برای تعیین روابط ریاضی نیاز به مجموعه‌ای از پارامترها دارد [۳۶]. برای شبیه‌سازی رواناب با استفاده از روش SCS لازم است تا مقادیر بهینه برای پارامترهای مختلف مشخص شود. برای زیادکردن کارایی مدل در هر منطقه باید پارامترهای حساس مشخص و مقدار بهینه برای این پارامترها با دقت

اولیه نیز می‌توان این موضوع را بیان کرد. در مناطق خشک زمان رسیدن به دبی اوج کوتاه‌تر است، بنابراین سیلاب سریع‌تر از حوضه تخلیه شده و به سیل و ایجاد خسارت‌های مالی و جانی منجر می‌شود.

همان‌طور که در شکل نیز مشخص است میزان شیب خط مربوط به پارامترهای مطالعه شده در منطقه مرطوب نسبت به منطقه خشک کمتر است. همچنین، در بین پارامترهای انتخابی پارامتر شماره منحنی در هر دو حوضه آبخیز حساسیت زیادی دارد به‌طوری که با تغییر ۱۰ درصدی در مقدار شماره منحنی میزان تغییرات دبی در منطقه مرطوب ۸ درصد و در منطقه خشک ۱۴ درصد مشاهده شد. حساسیت زیاد پارامتر شماره منحنی در منطقه خشک می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر زیاد عوامل فیزیوگرافیکی و کاربری اراضی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل این مناطق باشد [۴۶].

مدل برای مناطق مطالعاتی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد در مناطق مطالعاتی پارامتر شماره منحنی نسبت به پارامترهای زمان تمرکز و تلفات اولیه حساسیت زیادی دارد و با تغییر این پارامتر، مقدار دبی شبیه‌سازی شده به‌طور درخور توجهی تغییر می‌کند. زیادبودن حساسیت شماره منحنی با بیشتر مطالعاتی که با مدل HEC-HMS و یا سایر مدل‌های فیزیکی انجام شده، مطابقت دارد [۴۵ و ۴۶]. تغییرات دبی شبیه‌سازی شده در منطقه خشک نسبت به منطقه مرطوب با تغییر یکسان شماره منحنی بیشتر است و می‌توان گفت که حساسیت پارامتر شماره منحنی در منطقه خشک نسبت به منطقه مرطوب بیشتر است. بنابراین، می‌توان بیان کرد که با انجام عملیات اصلاحی و کاهش شماره منحنی در مناطق مطالعاتی می‌توان دبی پیک سیلاب‌ها را کاهش داد و از خسارت‌های ایجادشده توسط این سیلاب‌ها جلوگیری کرد. درباره پارامترهای زمان تمرکز و تلفات



شکل ۳. آنالیز حساسیت مدل HEC-HMS نسبت به پارامترهای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل: الف) کسپیلان، ب) کارده

جدول ۲. پارامترهای واسنجی شده برای حوضه‌های مطالعاتی

حوضه	تاریخ	شماره منحنی	میزان جذب اولیه*	زمان تأخیر**	مساحت***
کسپیلان	۲۹ نوامبر ۱۹۹۸	۷۴	۴	۷	۶۷/۸
	۱۸ اکتبر ۲۰۰۲	۷۱	۶	۵	
کارده	۲۲ جولای ۱۹۹۷	۸۲	۷	۱/۲	۹۳/۲۰
	۸ می ۲۰۰۳	۷۹	۶	۲/۳	

واحدهای اندازه‌گیری: \* برحسب میلی‌متر، \*\* برحسب دقیقه، \*\*\* برحسب کیلومتر مربع

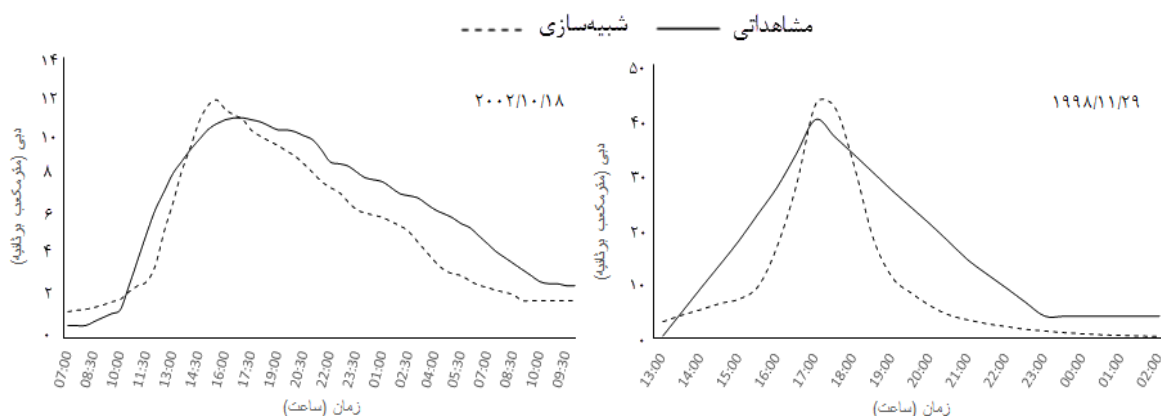
دبی اوج هیدروگراف اهمیت زیادی دارد، کارایی مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی دبی اوج در مناطق مطالعاتی بررسی شد. مقدار دبی اوج مشاهداتی در حوضه آبخیز

نتایج واسنجی مدل برای سیلاب‌های مطالعه شده در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است. با توجه به اینکه در ایجاد مخاطرات و خسارت‌های به‌وجودآمده از وقایع سیل،

عامل بر مدل در منطقه مرطوب مطالعه شده (کسیلیان)، زمان تأخیر حوضه است [۴۷] و از طرف دیگر در منطقه خشک زمان تأخیر برای سیلابها کمتر از منطقه مرطوب است که این موضوع مدیریت سیلاب را در مناطق خشک دشوارتر می کند و با رخداد سیل به ایجاد خسارت و بحران در منطقه منجر می کند. در تحقیقات انجام شده توسط شفیعی و همکارانش [۴۸] در حوضه آبخیز نیشابور و ابراهیمی و همکارانش [۴۹] در حوضه آبخیز ایلام به زیادبودن دقت مدل در مناطق مرطوب نسبت به مناطق خشک اشاره شده است.

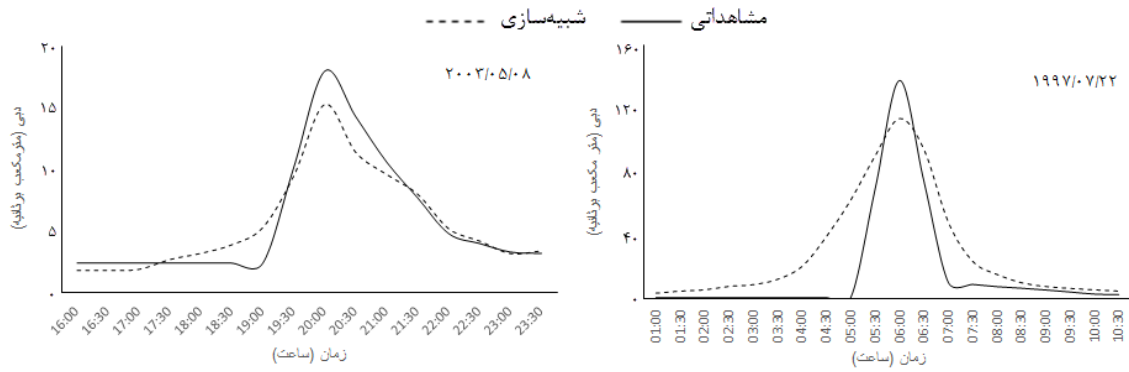
اعتبارسنجی مدل یک بخش مهم در ارزیابی اجرای مدل برای یک منطقه است که برای بالابردن سطح اعتماد کاربر در قابلیت شبیه سازی مدل ضروری است [۴۵]. در اسنادی که تا کنون ارائه شده است، روش یا راهنمای جهانی مورد قبول برای اعتبارسنجی مدل ارائه نشده است [۵۰]. در این تحقیق از رویکرد رایج اعتبارسنجی مدلها استفاده شد، به طوری که از میانگین پارامترهای کالیبره شده در دوره واسنجی برای شبیه سازی مدل در دو سیلاب تاریخ ۲۶ می ۲۰۰۹ و ۱۵ می ۲۰۰۹ به ترتیب در حوضه آبخیز کسیلیان و کارده استفاده شد، نتایج اعتبارسنجی مدل برای مناطق مطالعاتی در شکل ۶ نشان داده شده است. همان طور که نتایج ارزیابی مدل نشان می دهد (جدول ۴)، مدل با دقت قابل قبولی مقادیر دبی مشاهداتی را شبیه سازی کرده است.

کسیلیان در دوره واسنجی برای تاریخ ۲۹ نوامبر ۱۹۹۸ و ۱۸ اکتبر ۲۰۰۲ به ترتیب ۳۹/۲ و ۱۱/۶ مترمکعب بر ثانیه است که مدل مقادیر دبی های اوج را به ترتیب ۴۲/۸۴ و ۱۲/۴ مترمکعب بر ثانیه شبیه سازی کرده است و در حوضه آبخیز کارده میزان دبی اوج مشاهداتی برای سیلاب تاریخ های ۲۲ جولای ۱۹۹۷ و ۸ می ۲۰۰۳ به ترتیب ۱۳۷/۸ و ۱۸ مترمکعب بر ثانیه و میزان دبی شبیه سازی شده به ترتیب ۱۱۳/۶ و ۱۵/۴ مترمکعب بر ثانیه اند. مقایسه هیدروگراف شبیه سازی مدل با دبی هیدروگراف مشاهداتی نشان می دهد مدل استفاده شده به خوبی زمان وقوع دبی اوج را شبیه سازی کرده است و انطباق خوبی بین دبی هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی وجود دارد. نتایج ارزیابی کارایی مدل برای وقایع مطالعاتی در حوضه های آبخیز در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان می دهد مدل HEC-HMS برای شبیه سازی هیدروگراف سیل با گام زمانی ۳۰ دقیقه عملکرد قابل قبولی دارد، که با نتایج مطالعات یادشده مطابق است [۲۱، ۲۳ و ۲۴]. همچنین، نتایج نشان می دهد دقت مدل برای شبیه سازی هیدروگراف سیل در منطقه مرطوب (کسیلیان) نسبت به منطقه خشک بیشتر است، به طوری که مقدار نمایه آماری نش-ساتکلیف در حوضه آبخیز کسیلیان برای تاریخ های مطالعاتی به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۷۸ است، در صورتی که در حوضه آبخیز کارده به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۷۵ است. از یک طرف، تأثیرگذارترین



شکل ۴. شبیه سازی هیدروگراف سیلاب حوضه آبخیز کسیلیان با استفاده از مدل HEC-HMS در دوره واسنجی

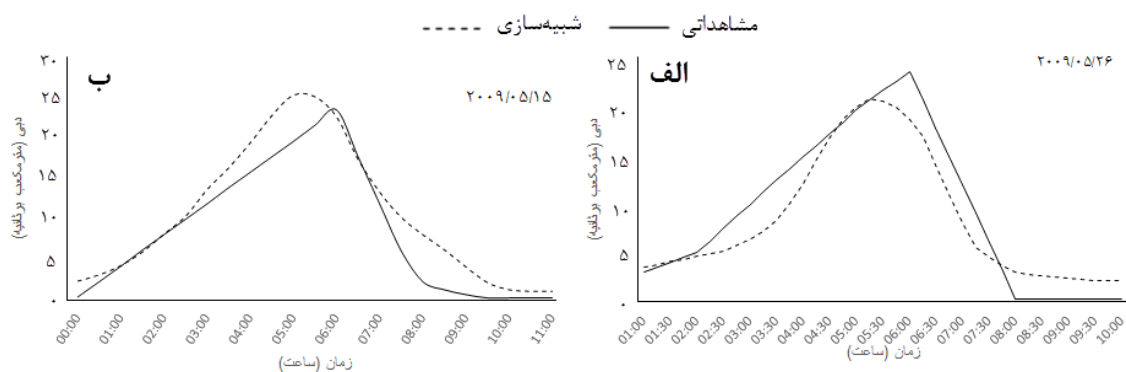




شکل ۵. شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب حوضه آبخیز سد کارده با استفاده از مدل HEC-HMS در دوره واسنجی

جدول ۳. واسنجی مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در مناطق مطالعاتی

حوضه	تاریخ سیلاب	CP	R <sup>2</sup>	NS	دبی اوج مشاهداتی	دبی اوج شبیه‌سازی	دبی متوسط مشاهداتی	دبی متوسط شبیه‌سازی
کسیلیان	۱۹۹۸/۱۱/۲۹	۱۸۵/۶	۰/۹۱	۰/۸۱	۳۹/۲	۴۲/۸۴	۶/۲	۵/۴
	۲۰۰۲/۱۰/۱۸	۹۸/۱۳	۰/۸۶	۰/۷۸	۱۱/۶	۱۲/۴	۱۳/۲۶	۱۱/۷۲
کارده	۱۹۹۷/۰۷/۲۲	۲۱۶/۷	۰/۸۲	۰/۷۱	۱۳۷/۸	۱۱۳/۶	۱۰/۳	۱۱/۸
	۲۰۰۳/۰۵/۰۸	۱۱۳/۴	۰/۸۹	۰/۷۵	۱۸	۱۵/۴	۵/۸۱	۵/۶۱



شکل ۶. شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در دوره اعتبارسنجی: (الف) حوضه آبخیز کسیلیان، (ب) حوضه آبخیز کارده

جدول ۴. اعتبارسنجی مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در مناطق مطالعاتی

حوضه	تاریخ سیلاب	CP	R <sup>2</sup>	NS	دبی اوج مشاهداتی	دبی اوج شبیه‌سازی	دبی متوسط مشاهداتی	دبی متوسط شبیه‌سازی
کسیلیان	۲۰۰۹/۰۵/۲۶	۱۸۸	۰/۸۷	۰/۷۹	۲۴/۷	۲۱/۸۲	۹/۴	۸/۶
کارده	۲۰۰۹/۰۵/۱۵	۲۱۰	۰/۷۶	۰/۷۱	۲۱/۵	۲۵/۳۱	۸/۷۴	۱۰/۲۶

### نتیجه‌گیری

وقایع سیل در مناطق مختلف از مهم‌ترین بلاهای طبیعی است که برای مدیریت این واقعه و کاهش خسارت‌های آن لازم است که از روش‌های جدید مانند مدل‌های هیدرولوژیکی

استفاده شود. مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای ارزیابی هیدروگراف رواناب به‌طور گسترده در کشورهای مختلف استفاده می‌شود. این مدل توانایی شبیه‌سازی رواناب در گام‌های زمانی مختلف را دارد به‌طوری که برای شبیه‌سازی

HEC-HMS با کارایی زیادی، این تغییرات را شبیه‌سازی کرده است. البته، شایان یادآوری است که نتایج به‌دست‌آمده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در هر دو منطقه مناسب است و با سطح اعتماد قابل قبولی می‌توان برای انجام برنامه‌های مدیریتی در هر دو منطقه از این مدل استفاده کرد.

#### منابع

- [1]. Modiri M, Nosrati S, Karimi H. Crisis management planning in urban management with a passive defense approach and using SWOT or MCDM techniques (Case study: Rasht Metropolis). *Journal of Emergency Management (JOEM)*, 2015; 5 (7): 5-14. [Persian]
- [2]. American Management Association (AMA). *AMA Survey: Crisis management and Security issues*, 2003.
- [3]. Nokhbatolfoghahaayee H, Bagher Menhaj M, Shafie M. Fuzzy decision support system for crisis management with a new structure for decision making. *Expert Systems with Applications*, 2010; 37: 3545-3552. [Persian]
- [4]. Yang TH, Ho JY, Hwang GD, Lin GF. An indirect approach for discharge estimation: a combination among micro-genetic algorithm, hydraulic model, and in situ measurement. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2014; 39: 46-53.
- [5]. Kisi O. River flow Modeling using Artificial Neural Networks. *Journal of Hydrologic Engineering*. ASCE, 2004; 9 (1): 60-63.
- [6]. Abushandi E, Merkel B. Modeling rainfall runoff relations using HEC-HMS and IHACRES for a single rain event in an arid region of Jordan. *Journal of Water Resource Management*, 2013; 27: 2391-2409.
- [7]. Atfi G. Simulation results of water and sediment in Aharchay basin using SWAT model and ArcGIS, Master thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources Technology, City University researcher, 2014. [Persian]
- [8]. Young PC, Garnier H. Identification and estimation of continuous time, data-based mechanistic (DBM) models for environmental systems. *Environmental Modelling and Software*, 2006; 21 (8): 1055-1072.
- [9]. Croke BFW, Andrews F, Jakeman AJ, Cuddy SM, Luddy A. "Redesign of the IHACRES rainfall-runoff model." In 29th Hydrology and Water Resources Symposium: Water Capital, 20-23 February 2005, Rydges Lakeside, Canberra, p. 333. Engineers Australia, 2005.

یک رویداد و یا چندین وقایع طی دوره آماری طولانی مدت می‌توان از این مدل هیدرولوژیکی استفاده کرد. با توجه به هدف پژوهش حاضر، که مقایسه و ارزیابی کارایی مدل برای شبیه‌سازی تک‌واقعه‌ها در مناطق خشک و مرطوب است، دو حوضه آبخیز معرف با آمار بارندگی مشاهداتی به‌صورت دقیقه‌ای و با اقلیم کاملاً متفاوت انتخاب شد، در این حوضه‌ها نوع اقلیم و توپوگرافی حاکم بر منطقه بر میزان بارندگی منطقه تأثیرگذار است. حوضه آبخیز کسلیان با متوسط بارندگی ۷۹۱ میلی‌متر و حوضه آبخیز کارده با متوسط بارندگی ۲۲۰ میلی‌متر در سال اقلیم و فرایندهای هیدرولوژیکی کاملاً متفاوت با یکدیگر دارند. آنالیز حساسیت مدل در این مناطق مطالعاتی نشان می‌دهد در هر دو منطقه پارامتر شماره منحنی حساسیت زیادی دارد و با مقایسه آنالیز حساسیت پارامتر شماره منحنی در مناطق مطالعاتی، تعیین شد که پارامتر شماره منحنی در منطقه خشک نسبت به منطقه مرطوب حساسیت بیشتری دارد. مساحت محدوده‌های مطالعاتی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و توپوگرافی هر دو منطقه تقریباً یکنواخت است، بنابراین انتظار می‌رود که اختلاف در کارایی مدل نیز تحت تأثیر اقلیم منطقه باشد. در حوضه آبخیز کسلیان با داشتن اقلیم مرطوب، وقایع رخدادی شدت کمتری دارند و زمان پایه طولانی مدت برای دبی اوج نیاز است در حالی که در حوضه آبخیز کارده وقایع رخدادی شدت بارندگی بیشتری دارند و پس از طی زمان کوتاهی دبی اوج اتفاق می‌افتد و سپس به‌سرعت کاهش می‌یابد. وقایع بارندگی شدید مشابه، در مناطق خشک نسبت به مناطق مرطوب حجم و شدت بیشتری دارند که خسارت‌های زیادی را تولید می‌کنند. بنابراین، لازم است که با مدیریت صحیح از واردشدن خسارت‌ها و آسیب زیاد جلوگیری کرد و با در نظر گرفتن تمهیداتی مانند ذخیره رواناب در داخل حوضه یا تخلیه رواناب به‌صورت کنترل شده می‌توان از شدت خسارت‌ها به‌طور درخور توجهی جلوگیری کرد. ارزیابی نتایج کارایی مدل برای شبیه‌سازی این وقایع نشان داد مدل در مناطق خشک نمی‌تواند افزایش و کاهش سریع دبی اوج را در مدت‌زمان کوتاه شبیه‌سازی کند و هیدروگراف‌های مشاهداتی نسبت به هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده باریک‌تر هستند، در صورتی که در منطقه کسلیان با توجه به اقلیم مرطوب منطقه، هیدروگراف مشاهداتی به‌صورت کشیده‌تر است و تغییرات طی مدت‌زمان طولانی‌تر در هیدروگراف سیل رخ می‌دهد و مدل

- [10]. Boughton W. Calibrations of a daily rainfall runoff model with poor quality data. *Environmental Modelling and Software*, 2006; 21 (8): 1114-1128.
- [11]. Sriwongsitanon N, Taesombat W. Estimation of the IHACRES model parameters for Flood Estimation of Ungauged catchments in the Upper Ping River basin. *Journal of Kasetsart (Natural Science)* 2011; 45: 917-931.
- [12]. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service (USDA). *Hydrology. In National Engineering Handbook. Section 4.* Washington DC. US Govt. Printing office, 1972.
- [13]. Nielsen SA, Hansen E. Numerical simulation of the rainfall runoff process on a daily basis. *Nordic Hydrol*, 1973; 4: 171-190.
- [14]. Sugawara M. Tank model and its application to Bird Creek, Wollombi Brook, Bikin Rive, Kitsu River, Sanaga River and Namr Mune. *Research Note of the National Research Center for Disaster Prevention*, 1974; 11: 1-64.
- [15]. Hydrologic Engineering Center (HEC). *User's Manual HEC-HMS Hydrologic Modeling System Version 2.0.* US Army Corps of Engineers, USA. 2000; 427 pp.
- [16]. Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR. *Soil Water Assessment Tool Theoretical Document, Version 2012.* Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, TX, USA, 2012.
- [17]. Beven K, Lamb R, Quinn P, Romanowicz R, Freer J. *TOPMODEL*, pp.627-668. In V. P. Singh, (ed.). *Computer Models of Watershed Hydrology.* Water Resources Publications. Colorado, USA, 1995.
- [18]. Beven K, Kirkby JM. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* 1979; 24: 43-69.
- [19]. Croke BFW, Merritt WS, Jakeman AJ. A dynamic model for predicting hydrologic response to land cover changes in gauged and ungauged catchments. *J. Hydrol.* 2003; 291: 115-131.
- [20]. Shokri S, Behnia A, Radmanesh F, Akhond A. Watershed Flood Hydrograph Estimation Using HEC-HMS and Geographic Information System (Case Study: Idanak Watershed), *Journal of Watershed Management Research*, 2012; 3 (5): 63-80. [Persian]
- [21]. Abbasi M, Mohseni Saravi M, Kheirkhah M, Khalighi Sigaroudi S, Rostamizad G, Hosseini M. Assessment of Watershed Management Activities on Time of Concentration and Curve Number using HEC-HMS Model (Case Study: Kan Watershed, Tehran). *Journal of Range and Watershed Management*, 2010; 63(3): 375-385. [Persian]
- [22]. U.S. Army Corps of Engineers. *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Applications Guide: Version 3.1.0.* Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2008.
- [23]. Saghafaeian M, Farazjo H. Determine the productive flood areas and prioritize flood basin hydrologic units Golestan. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 2007; 1 (1): 1 -11. [Persian]
- [24]. Sabzevari T, Ardakanian R, Shamsaei A, Talebi A. Predicting the Flood Hydrographs of Ungauged Watersheds Using HEC-HMS and Geographic Information System (GIS). *Journal of Water Resources Engineering*, 2009; 2 (4): 1-12. [Persian]
- [25]. Behnam P, Samadi H, Shayan Nejad M, Ibrahim A. Evaluation of Impacts of Land Use Changes on Zayandehroud River Flood Hydrograph in Isfahan Region. *Journal of Water and Wastewater*, 2013; 4: 103-111. [Persian]
- [26]. Gholami V, Darvari Z. A study on the simulation of rainfall-runoff process using Artificial Neural Network (ANN) and HEC-HMS (Case study: Kasilian Basin). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 2013; 7 (21): 67-70. [Persian]
- [27]. Vahabzadeh G, Navidifar Y, Habibnezhad M, Abghari H. The effect of land use changes on river daily discharge by using HEC-HMS (Case Study: Ajourloo Basin, West Azarbaijan province). *Journal of Water and Soil Science*, 2014; 24 (4): 227-236. [Persian]
- [28]. Rezazadeh M, Ganjalikhani M, Zounemat-Kermani M. Comparing the performance of semi-distributed SWAT and lumped HEC-HMS hydrological models in simulating river discharge (Case study: Ab-Bakhsha Watershed). *Iranian journal of Ecohydrology*, 2016; 2(4): 467-479. [Persian]
- [29]. Joo J, Kjelsen T, Kim H, Lee H. A comparison of tow event-based flood models (ReFH model and HEC-HMS) at two Korean Catchments, Bukil and Jeungyeong, *Civil Engineering*, 2014; 18(1): 330-343.
- [30]. Laouacheria E, Mansouri R. Comparison of WMNM and HEC-HMS for runoff Hydrograph predication in a small urban catchment. *Water Resource Management*, 2015; (29): 2485-2501.

- [31]. Roy D, Begam S, Ghosh S, Jana S. Calibration and validation of HEC-HMS model for a river basin in eastern India. *Journal of engineering and applied science*, 2013; 8 (1): 40-57.
- [32]. Kathol JP, Werner HD, Trooien TP. Predicting Runoff for Frequency based Storm using a Prediction Runoff Model. A.S.A.E South Dakota, U.S.A, 2003.
- [33]. McColl Ch, Aggett G. Land use forecasting and hydrologic model integration for improved land use decision support. *Journal of Environmental Management*. 2006; 494-512.
- [34]. Yoshikawaa N, Nagaob N, Misawac S. Evaluation of the flood mitigation effect of a Paddy Field Dam project. *Agricultural Water Management*. 2010; 97(2): 259-270.
- [35]. Oleyiblo JO, Li ZJ. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misia and Wan'an catchments in China. *Water Science and Engineering*, 2010; 3(1): 14-22.
- [36]. Singh VP. *Applied Modeling in Catchment Hydrology*. Littleton, CO: Water Resources Publications, 1982.
- [37]. James LD, Burgess SJ. Selections, calibration and testing of hydrologic models. In: Haan, C.T., Brakensiek, D.L. (Eds.), *Hydrologic Modelling of Small Watersheds*. American Society of Agricultural Engineers, Michigan, 1982; 437-472.
- [38]. Perrone J, Madramootoo CA. Use of AGNPS for watershed modelling in Quebec. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*, 1997; 40 (5), 1349-1354.
- [39]. Babel MS, Najim MMM, Loof R. Assessment of agricultural nonpoint source model for a watershed in tropical environment. *Journal of Environment Engineering*, 2004; 130 (9): 1032-1041.
- [40]. Halwatura MM, Najim M. Application if the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. *Environmental Modelling and software*, 2013; 46: 155-162.
- [41]. Kumar A, Singh R, Jena P, Chatterjee Ch, Mishra A. Identification of the best multi-model combination for simulating river discharge. *Journal of Hydrology*, 2015; 525: 313-325.
- [42]. Jiang Y, Liu Ch, Li X, Liu L, Wang H. Rainfall-runoff modeling, parameter estimation and sensitivity analysis in a semiarid catchment. *Environmental Modelling & Software*, 2015; 67: 72-88.
- [43]. Abushandi E. Rainfall-runoff modeling in arid catchment. By the faculty for Geosciences, Geotechnique and Mining of the Technische University Bergakademie Freiberg, 1980.
- [44]. Muthukrishnan S, Harbor J, Lim KJ, Bernard AE. Calibration of a simple rainfall-runoff model for long-term hydrological impact evaluation. *Urban and Regional Information Systems Association (URISA)*, 2006; 18 (2): 35-42.
- [45]. Kaviani A, Gulshan M, Rouhani H, Esmali A.. Runoff and sediment load simulation using the pattern SWAT in Mazandaran Haraz watershed. *Physical Geography Researches*, 2015; 47 (2): 197-211. [Persian]
- [46]. Golshan M. Predict flow and sediment yield in Mazandaran Haraz watershed using the SWAT model, a master's degree thesis, Department of Natural Resources, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Surrey, 2013. [Persian]
- [47]. Chidaz A, Saravi MM, Vafakhah M. Evaluating the HEC-HMS model for estimating flood hydrograph in Kasilian basin. *Watershed Management Researches (Pajouhesh & Sazandegi)*, 2009; 84: 59-71. [Persian]
- [48]. Shafiei M, Ansari H, Davari, K, Ghahraman B. Calibration and uncertainty analysis of a semi-distributed model in a semi-arid region (Case Study: Nishabour Watershed). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 2013; 17 (64): 137-148. [Persian]
- [49]. Ebrahimi H. Evaluation of SWAT model to simulate runoff and sediment discharge Doyraj River Basin in Ilam. Master thesis, Department of Rangeland and Watershed Management, University of Zabol, 2011. [Persian]
- [50]. Moriasi DN, Wilson N, Douglas-Mankin KR, Arnold JG, Gowda PH.. *Hydrology and water quality models: use, calibration and validation*. Soil & Water Division of ASABE, 2012; SW9812: 1241-1247.