

## اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل خیزی

بهرام بدری - کارشناس ارشد آبخیزداری دانشگاه شهرکرد

رفعت زارع بیدکی\* - استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد

افشین هنریخش - دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد

فاطمه آتشخوار - کارشناس ارشد مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۰۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۱۲

### چکیده

تحقیق حاضر به اولویت‌بندی مکانی سیل خیزی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS پرداخته است. در این تحقیق از روش شماره منحنی برای برآورد تلفات بارش، از روش SCS برای شبیه‌سازی تبدیل بارش-رواناب در سطح زیرحوضه‌ها و از روش ماسکینگام به منظور روندیابی هیدروگراف سیل خروجی حوضه استفاده شد. سپس، با روش حذف متوالی، میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی اوج خروجی حوضه تعیین شد و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر دبی اوج سیل و کاهش دبی به ازای واحد سطح صورت گرفت. روندیابی سیل در آبراهه‌ها نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی متناسب با دبی اوج زیرحوضه‌ها نیست. لذا، به منظور حذف اثر مساحت در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، میزان تأثیر هر واحد سطح زیرحوضه در سیل خروجی نیز محاسبه شد. نتایج اولویت‌بندی از نظر دبی اوج، بر اساس سهم مشارکت هر زیرحوضه در محل خروجی حوضه نشان‌دهنده این است که زیرحوضه‌های درکش و رکش و بهشت‌آباد به ترتیب با ۲۹/۱۶ و ۲/۵ درصد، بیشترین و کمترین سهم را در دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه بر عهده داشته است. نتایج اولویت‌بندی براساس کاهش دبی به ازای واحد سطح نشان‌دهنده این است که زیرحوضه بهشت‌آباد با داشتن کمترین مساحت نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها بیشترین و زیرحوضه تنگ دهنو کمترین تأثیر را داشته است.

کلیدواژه‌ها: استان چهارمحال و بختیاری، حوضه آبخیز بهشت‌آباد، روش SCS، شماره منحنی، ماسکینگام، HEC-HMS

### مقدمه

سیلاب در زمره مهم‌ترین بلایای طبیعی است که خسارت‌های فراوانی به مناطق تحت تأثیر خود وارد می‌کند. برای مدیریت سیلاب باید عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی و سپس مناطق دارای پتانسیل بالا در تولید سیل تعیین شود. به‌طور کلی، دو دسته عوامل اقلیمی و حوضه‌ای در ایجاد سیلاب‌ها نقش دارد. منشأ بسیاری از سیلاب‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک رگبارهای با شدت زیاد و تداوم نسبتاً کوتاه است. بنابراین، در بررسی رگبارها باید به تداوم، شدت و توزیع زمانی و مکانی آن‌ها در بروز سیل توجه کرد. از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای می‌توان به کاربری اراضی،

وضعیت زمین‌شناسی، نفوذپذیری، پوشش گیاهی، مساحت، شیب و خصوصیات شبکه زهکشی اشاره کرد. در مدیریت سیل برخی از این عوامل کنترل‌پذیر است که در طرح‌های کنترل سیل بیشتر باید به آن‌ها کرد. این مجموعه عوامل در داخل حوضه و در تبدیل بارش باریده بر سطح حوضه به رواناب نقش دارد. بنابراین، هرگونه راه‌حل اصولی و چاره‌ساز را باید در حوضه‌های آبخیز جست‌وجو کرد. برای انجام این کار نیاز به شناسایی مناطق سیل‌خیز در داخل حوضه است، زیرا به دلیل وسعت زیاد و گستردگی حوضه‌های آبخیز انجام عملیات اصلاحی در سراسر حوضه امکان‌پذیر نیست. اقدام غلط در مکان نامناسب نیز ممکن است آثار معکوسی به‌همراه داشته باشد. لذا، باید مناطق دارای پتانسیل بالا در تولید سیل شناسایی شود تا امکان عملیات اجرایی و اصلاحی در سطوح کوچک‌تر و خطرناک‌تر فراهم شود. با توجه به نبود ایستگاه‌های هیدرومتری در تمام زیرحوضه‌ها و کم‌بودن آمار و اطلاعات ثبت‌شده از سیل در حوضه‌های آبخیز کشور، به‌طور عملی نمی‌توان شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها را به تنهایی از تجزیه و تحلیل داده‌های موجود استنتاج کرد. در نتیجه، نقش مدل‌های ریاضی هیدرولوژیکی در تعیین سیل‌خیزی حوضه‌ها بسیار مهم است. یکی از این مدل‌ها HEC-HMS است که گروه مهندسی ارتش آمریکا آن را تدوین و ارائه کرده است. کاربرد آن شبیه‌سازی فرایند بارش - رواناب است که با استفاده از نتایج مدل می‌توان اقدام به تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل‌خیزی کرد.

مطالعات در مقیاس‌ها و اقلیم‌های مختلف توانایی این مدل را در شبیه‌سازی هیدروگرافی جریان خروجی از حوضه، هم در مقیاس زمانی سالانه و هم به صورت تک‌واقعه‌ای تأیید کرده‌اند. کنبل و همکاران (۲۰۰۵) به منظور تعیین مقیاس محلی برای مدل‌سازی سیلاب، از مدل HEC-HMS استفاده کردند. یوسوپ و همکاران (۲۰۰۷) نیز کارایی مدل HEC-HMS را در مدل‌سازی هیدروگراف جریان و تعیین ویژگی‌های رواناب مناسب اعلام کردند. آن‌ها در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب به ضرایب کارایی ۰/۸۱ و ۰/۸۲ دست یافتند. چوداری و همکاران (۲۰۱۴) نیز استفاده از مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی وقایع بارش - رواناب به منظور برآورد حجم رواناب، دبی حداکثر سیل، و جریان پایه را در حوضه آبخیز بالیجوری نالا هند رضایت‌بخش دانستند. فودی و همکاران (۲۰۰۴) با مطالعاتی که در غرب مصر به منظور شناسایی مناطق حساس به سیلاب‌های شدید داشتند، از مدل HEC-HMS استفاده کردند. از تصاویر لندست TM و آزمایش نفوذپذیری برای به‌دست‌آوردن شماره منحنی منطقه استفاده کردند. این مدل دارای الگوریتم‌های مختلف در برآورد تلفات بارش و روندیابی سیلاب است و با توجه به داده‌های ارائه شده به مدل برای هر منطقه امکان واسنجی دارد و مناسب‌ترین روش‌ها برای شبیه‌سازی بارش - رواناب انتخاب شد.

کومار و باتاچاریا (۲۰۱۱) در هند با استفاده از مدل HEC-HMS به مدل‌سازی بارش - رواناب پرداختند و عنوان کردند راهکار توزیعی مدل HEC-HMS بهتر از مدل متمرکز شبیه‌سازی جریان رود عمل می‌کند. هگدوس و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه سیلاب‌های سریع، به حساسیت مدل HEC-HMS به رطوبت خاک پرداختند. نتیجه گرفتند که حساسیت‌پذیری قابل توجه مدل HEC-HMS نسبت به عامل رطوبت پیشین خاک در شبیه‌سازی حداکثرهای جریان‌های سیلابی است.

شامحمدی و زمردیان (۱۳۹۲) با به‌کار بردن مدل HEC-HMS از روش شماره منحنی و مدل رطوبت خاک بنت

برای برآورد رواناب رودخانه زرد استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل رطوبت خاک بنت شبیه‌سازی بهتری از آبنمود نسبت به روش شماره منحنی می‌دهد. رستمی‌زاد و همکاران (۱۳۹۲) نیز به مقایسه نتایج روش‌های مختلف برآورد تلفات بارش در مدل HEC-HMS پرداختند و روش‌های بهینه برای برآورد تلفات بارش در حوضه آبخیز کن را به ترتیب تلفات نمایی، گرین و آمپت، شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات، و شماره منحنی برشمردند. مقیاس مکانی استفاده از این مدل بسیار وسیع است و می‌توان در هر بار اجرای مدل مساحت‌های مختلف از یک زیرحوضه در بالادست تا کل یک حوضه آبخیز را مدل کرد. لذا، با داشتن قابلیت‌های مناسب در تعیین میزان مشارکت هر زیرحوضه یا تعیین پتانسیل سیل‌خیزی مناطق مختلف آبخیز به کار می‌رود.

ثقفیان و فرازجو (۱۳۸۶) مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل‌خیزی حوضه سد گلستان را با استفاده از روش واکنش سیل واحد در محیط مدل HEC-HMS بررسی کردند و دریافتند که شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها تنها تحت تأثیر یک عامل نیست و اثر ترکیبی پارامترها، به‌ویژه سهم بارش هر زیرحوضه، زمان تمرکز و زمان انتقال موج سیل از بازه روندیابی دارای نقش مؤثرتری است.

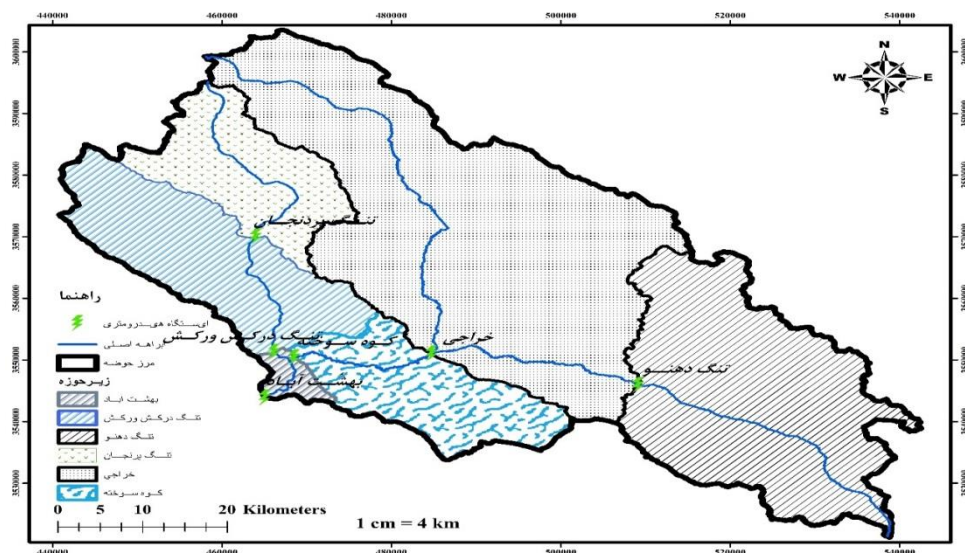
سلیمانی و همکاران (۱۳۸۷) در حوضه آبخیز معرف کسلیان، زهتابیان و همکاران (۲۰۱۰) در زیرحوضه‌های آبخیز مارمه، و بهرامی و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه سد بوستان، با استفاده از مدل HEC-HMS و با کاربرد روش تکرار حذف انفرادی زیرحوضه‌ها به این نتیجه رسیدند که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی متناسب با دبی اوج نیست و لزوماً زیرحوضه‌های دارای دبی بیشتر، بیشترین مشارکت را در سیل خروجی حوضه ندارد. همچنین، سهم زیرحوضه‌ها در پتانسیل سیل‌خیزی کل حوضه، تنها تحت تأثیر مساحت آن‌ها نیست و عواملی چون موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و روندیابی سیل در رودخانه اصلی نیز در رژیم سیلابی حوضه تأثیر مهمی دارد.

درخشان (۱۳۸۹) در حوضه آبخیز کسلیان با استفاده از این مدل به این نتیجه رسید که زیرحوضه‌های با پوشش جنگلی دارای کمترین میزان رواناب و پتانسیل سیل‌خیزی و بیشترین پتانسیل تولید رواناب در زیرحوضه‌هایی است که اراضی وسیع زراعی و گسترش خاک‌های گروه هیدرولوژیکی C (بافت سنگین) و اراضی نفوذناپذیر دارد. نصری و همکاران (۲۰۱۱) در حوضه آبخیز سد شیخ بهایی شهرستان کاشان به منظور اولویت‌بندی مناطق مؤثر بر دبی اوج سیلاب از مدل HEC-HMS استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد مناطق نزدیک نقطه خروجی حوضه، بیشترین نقش را در تولید سیل دارند و باید در اولویت فعالیت‌های آبخیزداری قرار گیرند. کمالی و همکاران (۱۳۹۴) از مدل HEC-HMS برای اولویت‌بندی مناطق مولد سیل در حوضه آبخیز باراجین شهر قزوین استفاده کردند و نشان دادند که نوع کاربری اراضی، نوع واحدهای هیدرولوژیکی خاک و بالا بودن میانگین وزنی CN حاکی از خطر بالای تولید سیل در حوضه است. همچنین، بیان کردند زیرحوضه‌های شیب‌دارتر در این منطقه با داشتن کاربری اراضی نامناسب اولویت اول را کنترل سیل دارند. رفیعی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در حوضه آبخیز بالادست سد کرج با تکرار حذف انفرادی زیرحوضه‌ها به تعیین میزان مشارکت آن‌ها در سیل خروجی این حوضه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که زیرحوضه تکیه سپهسالار بیشترین و زیرحوضه ولایترو کمترین سهم را در پتانسیل سیل‌خیزی دارد. هدف از تحقیق حاضر تعیین سهم مشارکت هر کدام از زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد در دبی سیلاب خروجی به منظور اولویت‌بندی آن‌ها در اقدام‌های پیشگیری و تخفیف آثار سیلاب است.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه حوضه آبخیز بهشت‌آباد با مساحت ۳۸۶۶ کیلومترمربع در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این حوضه آبخیز بین عرض‌های جغرافیایی شمالی ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه و طول‌های جغرافیایی شرقی ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه قرار دارد. محیط آن ۳۸۹/۶۱ کیلومتر و ارتفاع متوسط آن ۲۳۱۷/۲۸ متر است. حوضه مورد مطالعه براساس توپوگرافی و شبکه آبراه‌ها به شش زیرحوضه تقسیم می‌شود (شکل ۱). خصوصیات فیزیوگرافیکی حوضه بهشت‌آباد و زیرحوضه‌های آن در جدول ۱ آمده است.



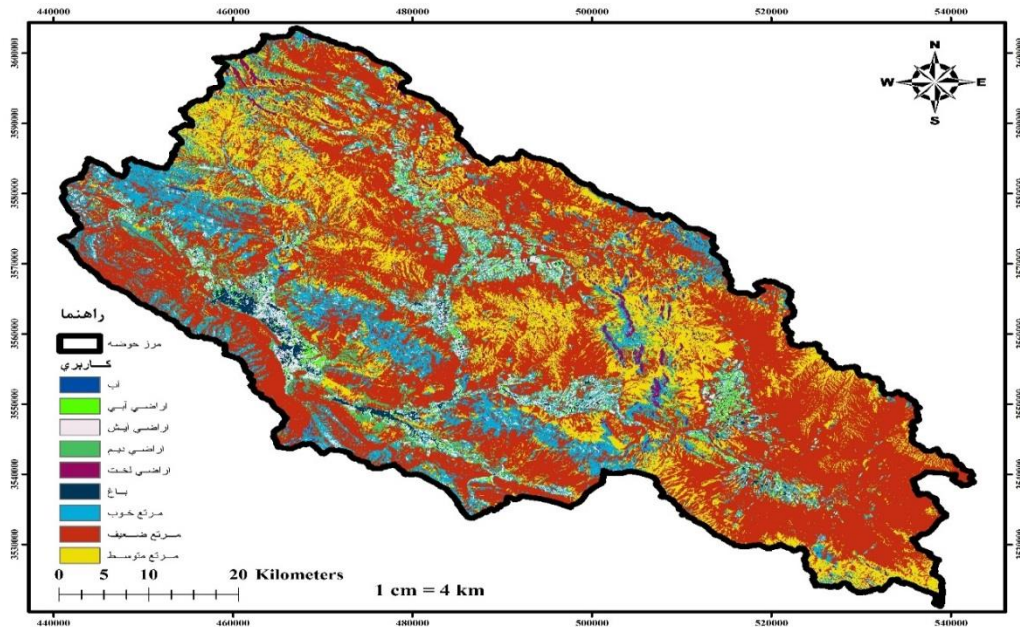
شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه بهشت‌آباد

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبخیز بهشت‌آباد و زیرحوضه‌های مربوط

نام حوضه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	محیط (Km)	طول آبراهه (Km)	شیب متوسط %	ارتفاع متوسط (M)
بهشت‌آباد	۴۴	۳۵	۱۲/۱۵۱	۲۳/۱۶	۲۳۸۰/۱۵
تنگ پردجان	۳۷۱	۱۱۵	۳۵/۴۲۷	۱/۹۵	۲۳۹۰/۳۸
درکش ورکش	۵۲۹	۱۲۸	۲۱/۸۷۷	۷/۳۴	۲۴۰۶/۹۸
کوه سوخته	۳۶۴	۱۰۲	۲۵/۱۳۳	۷/۴۹	۲۲۹۳/۱۹
تنگ دهنو	۹۴۵	۱۹۵	۴۸/۰۳۷	۳/۳۳	۲۳۱۵/۳۱
خراجی	۱۶۱۳	۲۴۳	۸۴/۳۸۸	۳/۲۰	۲۲۷۸/۶۷
کل حوضه	۳۸۶۶	۳۸۹/۶۱۵	۱۲۰/۰۵۶	۳/۱۱	۲۳۱۷/۲۸

### تهیه نقشه کاربری اراضی و شماره منحنی حوضه

برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست (ETM+) سال ۲۰۰۹ میلادی استفاده شده است. پس از انجام تصحیحات و تهیه نقشه کاربری اولیه در ۱۷۰ نقطه روی زمین کاربری ثبت شد. سپس با استفاده از این نقاط کنترل نمونه تعلیمی تهیه و نقشه با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و با ترکیب باندی NIR تهیه شد. در این روش با ادغام سه باند مادون قرمز نزدیک، قرمز، سبز (ترکیب باندهای ۴، ۳ و ۲ تصاویر ماهواره‌ای لندست) نقشه تهیه می‌شود. نقشه کاربری نهایی با دقت کلی ۹۳/۴۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۱ تهیه شد (شکل ۲). مساحت انواع کاربری‌ها در حوضه بهشت‌آباد و زیرحوضه‌های آن در جدول ۲ آمده است. بیشترین کاربری موجود در سطح کل حوضه بهشت‌آباد در سال مورد مطالعه مربوط به مرتع ضعیف و کمترین آن مربوط به کاربری اراضی کشاورزی آبی است.



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی حوضه بهشت‌آباد سال ۲۰۰۹

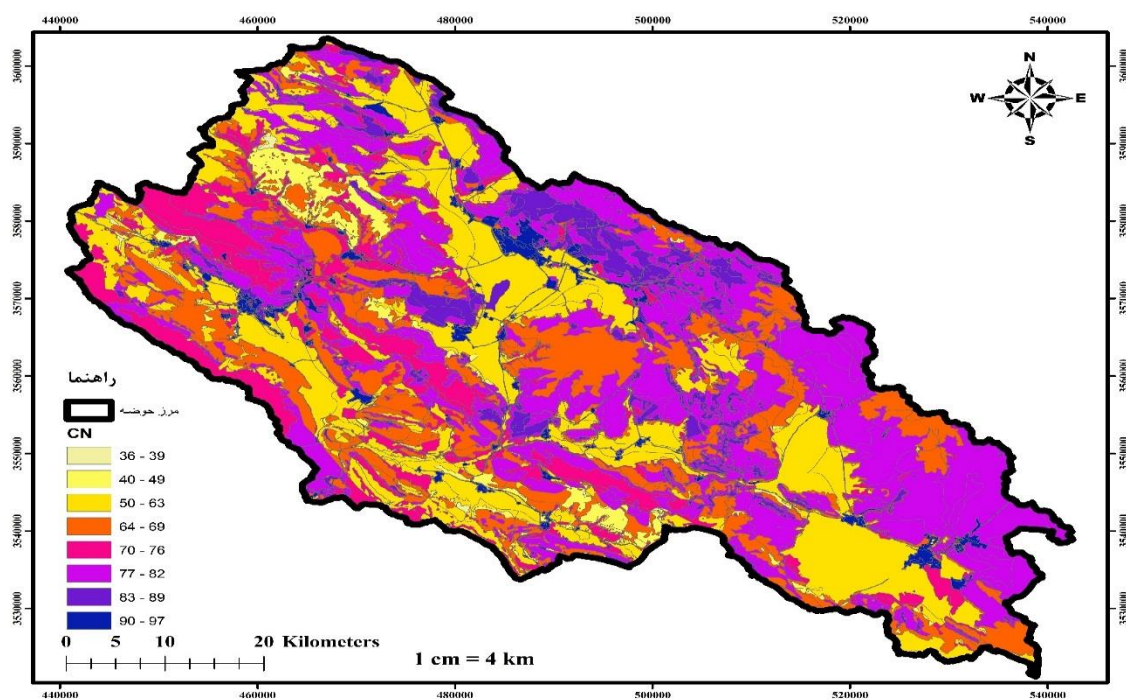
جدول ۲. درصد مساحت انواع کاربری‌ها در حوضه بهشت‌آباد و زیرحوضه‌های آن

حوضه کاربری	کل حوضه	بهشت‌آباد	تنگ پردنجان	درکش ورکش	کوه سوخته	تنگ دهنو	خرابی
اراضی آبی	۰/۷۰	۰/۰۰۴	۰/۱۸	۰/۸	۰/۳۷	۱/۱۰	۰/۶۴
اراضی دیم	۳/۱۸	۱/۴۳	۲/۷	۳/۷۸	۲/۷۳	۲/۴۳	۳/۶۹
مرتع ضعیف	۶۵/۰۳	۹۲/۸۳	۶۴/۲۲	۶۹/۳۲	۷۹/۱۴	۶۲/۶۷	۶۱/۲۵
باغ	۰/۷	۰/۰۱۶	۰/۱۶	۲/۰۱	۰/۸۸	۰/۶۵	۰/۴۱
اراضی آیش	۲/۶۷	۰/۷۶	۱/۱۳	۴/۱۶	۱/۸۱	۲/۱۷	۳/۰۸
مرتع متوسط	۱۴/۷۵	۰/۰۴۵	۱۵/۲۲	۲/۳۲	۲/۲۲	۲۲/۴۸	۱۷/۴۲
اراضی لخت	۱/۳۲	۰/۲۳	۱/۲۸	۰/۱۳	۰/۰۵۶	۱/۲۸	۲/۱۸
آب	۰/۰۱	۰/۲۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	.	.	۰/۰۱
مرتع خوب	۱۰/۱۶	۴/۶۷	۵/۵۷	۱۶/۱۸	۱۲/۲۷	۵/۵۷	۹/۴۲
شهری	۱/۴۲	.	۱/۵۹	۱/۲۴	۰/۴۹	۱/۵۹	۱/۸۴

گروه هیدرولوژیکی خاک در واقع واکنش زمین به بارش و تولید رواناب است. همچنین، نشان‌دهنده وضعیت بافت و نفوذناپذیری خاک حوضه است. براساس وضعیت بافت و نفوذپذیری خاک، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک‌ها با توجه به تقسیم‌بندی روش SCS شامل چهار گروه A، B، C و D با توانایی تولید رواناب به ترتیب از کم به زیاد است. نقشه گروه هیدرولوژی خاک از تلفیق نقشه‌های توپوگرافی و شیب و بافت خاک و زمین‌شناسی تهیه می‌شود. به منظور تعیین شماره منحنی مناطق مختلف حوضه، ابتدا با تطبیق نقشه‌های گروه هیدرولوژی خاک و کاربری اراضی، محدوده‌های همگن مشخص شد. سپس، شماره منحنی در هر یک از این واحدها بر اساس جداول سازمان حفاظت خاک آمریکا و با توجه به گروه هیدرولوژی خاک، نوع کاربری اراضی، پوشش گیاهی، اندازه‌گیری‌های حفاظت خاک و وضعیت رطوبت پیشین خاک مشخص شد و شماره منحنی متوسط وزنی حوضه با توجه به مساحت هر کدام از واحدهای همگن محاسبه شد (جدول ۳). میانگین وزنی شماره منحنی کل حوضه بهشت‌آباد برابر ۷۲/۶۹ است و زیرحوضه خراجی با داشتن بیشترین درصد از مساحت کل حوضه، بیشترین شماره منحنی است که باعث بالارفتن شماره منحنی کل حوضه شده است.

جدول ۳. مقادیر CN میانگین وزنی کل حوضه بهشت‌آباد و زیرحوضه‌های آن

حوضه	کل حوضه	بهشت‌آباد	تنگ پردنجان	درکش ورکش	کوه سوخته	تنگ دهنو	خراجی
شماره منحنی	۷۲/۶۹	۷۲/۲۴	۷۰/۶۸	۷۱/۷۱	۶۹/۷۳	۷۳/۴۸	۷۳/۷۱



شکل ۳. نقشه شماره منحنی CN حوضه بهشت‌آباد

## داده‌های بارش - رواناب و تعیین توزیع مکانی و زمانی رگبارها

شرایط لازم به منظور ارزیابی روش آن است که نتایج به دست آمده از آن روش با نتایج واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه شود. بنابراین، نیاز به سیلاب‌های مشاهداتی و سیلاب‌های ایجادشده با مدل است. اطلاعات سیلاب‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در حوضه بهشت‌آباد و دارای لیمنوگراف از اداره آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۹۰ تهیه و آب پایه از سیلاب‌های مشاهداتی به روش خط مستقیم کسر شد. به منظور تعیین بارش مولد سیل در تاریخ هر رویداد مقدار بارندگی روزانه ثبت‌شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه استخراج شد و مقدار بارش هر زیرحوضه با استفاده از روش میانگین وزنی تیسن به دست آمد. به منظور شبیه‌سازی هیدروگرافی سیل به کمک مدل HEC-HMS علاوه بر مقدار بارش به هایتوگراف بارش، نحوه توزیع بارش در مدت زمانی نیاز است که بارندگی اتفاق می‌افتد. با استفاده از الگوهای بارش تعیین‌شده برای ایستگاه‌های فرودگاه و بروجن و فارسان حداکثر بارش ۲۴ ساعته تمامی ایستگاه‌های باران‌سنجی محاسبه شد. سپس، به کمک نرم‌افزار SMADA مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال تعیین شد. در نهایت، رویدادهای سیلاب دارای بارش هم‌زمان در ایستگاه‌های ثبت تعیین شد (جدول ۴).

جدول ۴. مشخصات وقایع بارش-رواناب مشاهده‌ای برای کالیبره کردن و اعتباریابی مدل HEC-HMS

ایستگاه هیدرومتری	تاریخ وقوع سیلاب	شرایط رطوبتی	دبی اوج سیل (مترمکعب بر ثانیه)
خراجی	۸/ دسامبر / ۲۰۰۷	خشک	۱۲/۲
	۱/ می / ۲۰۰۹	خشک	۴
تنگ پردنجان	۱/ می / ۲۰۰۹	خشک	۲/۴
	۶/ آوریل / ۲۰۱۱	خشک	۳/۲
درکش ورکش	۹/ دسامبر / ۲۰۰۷	خشک	۱۷/۴
	۲۸/ ژانویه / ۲۰۰۹	خشک	۱۵
کوه سوخته	۱/ ژانویه / ۲۰۰۹	خشک	۲/۳
	۲۸/ فوریه / ۲۰۰۹	خشک	۱۰/۷
بهشت‌آباد	۲۸/ آوریل / ۲۰۰۹	خشک	۶/۷
	۴/ نوامبر / ۲۰۰۹	خشک	۵/۶
دهنو	۲۵/ فوریه / ۲۰۰۹	خشک	۰/۳
	۱۹/ آوریل / ۲۰۱۰	خشک	۳

### شبیه‌سازی واکنش هیدرولوژیکی حوضه با مدل HEC-HMS

به منظور شبیه‌سازی هیدروگرافی سیلاب‌های مشاهده‌شده، مدل با استفاده از روش شماره منحنی SCS برای رویدادهای بارش - رواناب مشاهده‌شده اجرا شد؛ گزینه‌ای که هایتوگراف بارش آن‌ها موجود بود. مدل HEC-HMS چندین زیر مدل در اجزای رواناب، جریان سطحی، آب پایه و جریان کانالی دارد. این مدل سه بخش اصلی به نام‌های مدل حوضه، مدل اقلیمی و شاخص‌های کنترلی دارد. همچنین، این مدل قابلیت کالیبره کردن خودکار و بهینه‌سازی پارامترها را نیز داراست. در این تحقیق، روش CN برای شبیه‌سازی تلفات اولیه بارش و نفوذ انتخاب شد. برای تعیین هیدروگراف رواناب مستقیم حوضه از روش هیدروگراف واحد SCS استفاده شد. روندیابی سیل در شبکه رودخانه‌ها از خروجی هر زیرحوضه تا خروجی کل با استفاده از روش ماسکینگام صورت گرفت.

### واسنجی و اعتباریابی HEC-HMS

در این تحقیق، برای واسنجی و اعتباریابی مدل HEC-HMS از روش Simple-Split Sample Test استفاده شده است. در این روش، سیلاب‌های مشاهده‌ای به دو گروه تقسیم می‌شود. پارامترهای مدل با یک گروه از داده‌ها و با استفاده از توابع هدف واسنجی می‌شود. سپس، اعتباریابی مدل از طریق اجرای مدل با پارامترهای بهینه‌شده برای گروه دوم داده‌ها انجام می‌شود. در نهایت، هیدروگراف مشاهده‌ای و هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده با یکدیگر مقایسه می‌شود.

### تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌ها

پس از بهینه‌سازی پارامترها، مدل با استفاده از بارش طراحی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۵۰ ساله اجرا شد و هیدروگراف سیل در محل خروجی هر زیر حوضه به دست آمد. سپس، با استفاده از روش تکرار حذف انفرادی، زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر سیل خیزی اولویت‌بندی شد. شاخص سیل خیزی مورد استفاده به صورت زیر تعریف شده است.

$$F = \left( \frac{\Delta Q}{Q} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$f = \left( \frac{F}{A} \right) \quad (2)$$

که در آن، F سهم مشارکت زیرحوضه در دبی خروجی کل حوضه به درصد،  $\Delta Q$  مقدار کاهش در دبی خروجی کل حوضه در اثر حذف زیرحوضه مورد نظر بر حسب مترمکعب بر ثانیه، Q دبی خروجی کل حوضه بر حسب مترمکعب بر ثانیه، f سهم مشارکت زیرحوضه در دبی خروجی کل حوضه به ازای واحد سطح و A مساحت زیرحوضه به کیلومتر مربع است.



## یافته‌های پژوهش

## نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS

از میان سیلاب‌های ثبت‌شده که داده‌های بارش متناظر آن در ایستگاه‌های باران‌سنجی به طور دقیق ثبت شده بود، برای هر زیرحوضه دو سیل به منظور واسنجی مدل و یک سیل برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. مقادیر اولیه ضریب تلفات برای وقایع مورد بررسی ۰/۲۵ در نظر گرفته شد. سپس، سایر پارامترها از جمله زمان تأخیر و شماره منحنی که از پیش تعیین شده بود به مدل وارد شد. به منظور بازسازی سیلاب متناظر با بارش وارد شده از روش ماسکینگام استفاده شد و به منظور واسنجی ضریب رواناب برای مدل تعریف شد تا دبی پیک سیلاب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را بر هم منطبق کند. بنابراین، مدل با روش سعی و خطا ضریب رواناب را تا جایی تغییر می‌دهد که دبی پیک دو سیلاب بر هم منطبق شود. داده‌های واردشده به مدل به منظور کالیبره کردن ضریب رواناب برای زیرحوضه‌های مورد نظر در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵. داده‌های ورودی به مدل به منظور کالیبره کردن مدل

نام حوضه	پارامترهای ورودی به مدل		
	مساحت (کیلومتر مربع)	شماره منحنی	تلفات اولیه به میلی‌متر
خراجی	۱۶۱۳	۷۳/۷۱	۱۸/۱۱
تنگ پردنجان	۳۷۱	۷۰/۶۴	۲۱/۱۱
درکش‌ورکش	۵۲۹	۷۱/۷۱	۲۰/۰۳
کوه سوخته	۳۶۴	۶۹/۷۳	۲۲/۰۵
بهشت‌آباد	۴۴	۷۲/۲۴	۱۹/۵۱
دهنو	۹۴۵	۷۳/۴۸	۱۸/۳۳

به منظور اجرای عملیات اعتبارسنجی، با استفاده از پارامتر ضریب تلفات بهینه‌شده در مرحله واسنجی و وارد کردن سایر پارامترهای لازم، مدل برای واقعه‌ای که هیدروگراف سیل آن در محل ایستگاه هر زیرحوضه موجود است، اعتبارسنجی شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که اختلاف مقدار دبی اوج مشاهده‌ای نسبت به مقدار شبیه‌سازی شده در زیرحوضه‌های تنگ پردنجان و درکش و رکش به ترتیب ۰/۷۶- و ۰/۹۹- درصد و برای بقیه زیرحوضه‌ها اختلافی مشاهده نشده است. کنبل و همکاران (۲۰۰۵)، یوسوپ و همکاران (۲۰۰۷)، و چوداری و همکاران (۲۰۱۴) نیز کارایی این مدل را در شبیه‌سازی بارش - رواناب تأیید کردند.

## نتایج مربوط به اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیز

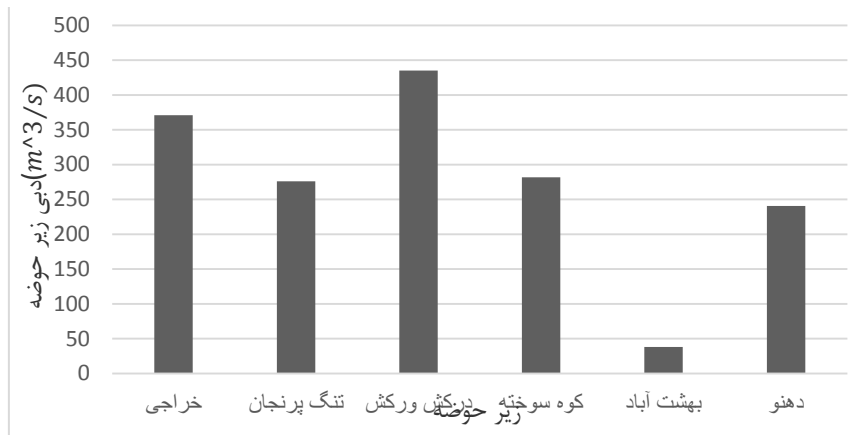
در بین زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد، زیرحوضه خراجی بیشترین مساحت و زیرحوضه بهشت‌آباد انتهایی کمترین مساحت را دارد. با فرض همگن بودن توزیع بارش بر سطح حوضه، داشتن بیشترین نسبت دبی خروجی به دبی کل حوضه

برای خراجی و کمترین آن برای بهشت‌آباد انتهایی دور از انتظار نیست، چرا که داشتن کمترین مقدار سطح با دریافت کمترین مقدار بارش برابر است. درکش‌ورکش با داشتن مقدار مساحتی که در رتبه سوم قرار می‌گیرد، در برخی دوره بازگشت‌ها بیشترین سهم دبی خروجی را به خود اختصاص می‌دهد. مقدار درجه منحنی این زیرحوضه در مقایسه با دیگر زیرحوضه‌ها تبدیل سهم بیشتری از بارش به رواناب در این زیرحوضه را تأیید می‌کند. نتایج به‌دست آمده با نتایج تحقیقات کومار و باتاچاریا (۲۰۱۱) و هگدوس و همکاران (۲۰۱۳) مشابه است. از مقایسه نسبت مساحت و دبی زیرحوضه‌ها (جدول ۶) می‌توان فهمید که زیرحوضه‌های با بیشترین مساحت الزاماً بیشترین نسبت دبی زیرحوضه به دبی کل را ندارد مانند زیرحوضه‌های خراجی و تنگ دهنو که با داشتن رتبه اول و دوم از نظر مساحت در رده‌های دوم و چهارم نسبت دبی زیرحوضه به کل حوضه قرار می‌گیرد. علت این امر در تأثیر عوامل گفته‌شده در بالا به غیر از مساحت است که ثقفیان و فرازجو (۱۳۸۶)، درخشان (۱۳۸۹) و رفیعی و همکاران (۱۳۹۴) نیز به نتیجه مشابهی در مناطق مورد مطالعه خود دست یافته‌اند.

جدول ۶. نسبت دبی زیرحوضه‌های بهشت‌آباد به دبی خروجی کل در دوره بازگشت‌های مختلف

نسبت دبی زیرحوضه به دبی کل حوضه در دوره بازگشت							نسبت مساحت زیرحوضه به مساحت کل حوضه	زیرحوضه
سال ۱۰۰	سال ۲۰۰	سال ۵۰	سال ۲۵	سال ۱۰	سال ۵			
۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳	۰/۲۹	۰/۴۱	خراجی	
۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۹	تنگ پردنجان	
۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۱۳	درکش ورکش	
۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۰۹	کوه سوخته	
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	بهشت‌آباد	
۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۲۴	دهنو	

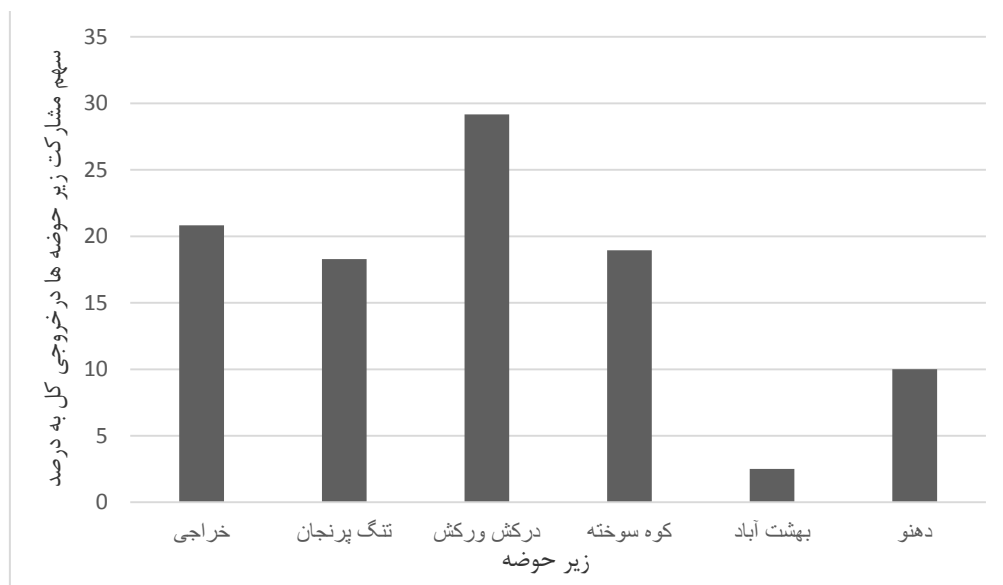
در اولویت‌بندی که تنها بر اساس دبی اوج زیرحوضه، بدون روندیابی هیدروگراف سیل از محل زیرحوضه تا خروجی کل حوضه انجام می‌گیرد میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی کل حوضه آبخیز مشخص نمی‌شود. بنابراین، زیرحوضه‌ای که دبی بیشتری دارد، اولویت اول را به خود اختصاص می‌دهد. بر این اساس نتایج نشان می‌دهد که زیرحوضه درکش ورکش بیشترین و زیرحوضه بهشت‌آباد کمترین مقدار دبی اوج را با مقادیر  $۳۸/۱$  و  $۴۳۵/۲$  مترمکعب بر ثانیه داراست. شکل ۴ مقایسه دبی خروجی زیرحوضه‌ها در محل خروجی زیرحوضه به ازای دوره بازگشت ۵۰ ساله را نشان می‌دهد.



شکل ۴. مقایسه دبی خروجی زیرحوضه‌ها در محل خروجی زیرحوضه به ازای دوره بازگشت ۵۰ ساله

زمانی که میزان تأثیر دبی زیرحوضه‌ها پس از روندیابی، در دبی اوج خروجی کل حوضه در نظر گرفته می‌شود، نسبت تأثیر آن‌ها تنها به مساحت و دبی اوج زیرحوضه بستگی ندارد، بلکه اثر متقابل عوامل مؤثر مثل موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها نقش مهمی خواهد داشت. بنابراین، لزوماً زیرحوضه‌های دارای مساحت بزرگ‌تر یا دبی بیشتر، در سیل خروجی کل حوضه تأثیر بیشتری ندارد. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مختلف از نظر دبی اوج، بر اساس سهم مشارکت هر زیرحوضه در محل خروجی ایستگاه بهشت‌آباد بررسی شده است. زیرحوضه‌ای اولویت اول شناخته می‌شود که با حذف‌کردنش بیشترین سهم کاهش را در دبی خروجی کل حوضه داشته باشد. نتایج اولویت‌بندی در جدول ۷ آمده است. نتایج نشان‌دهنده این است که زیرحوضه‌های درکش ورکش و بهشت‌آباد انتهایی به ترتیب با ۲۹/۱۶ و ۲/۵ درصد بیشترین و کمترین سهم را در دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه بر عهده داشت. شکل ۵ مقایسه مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه را نشان می‌دهد. این امر نشان‌دهنده آثار متقابل روندیابی سیل در رودخانه، موقعیت مکانی و خصوصیات زیرحوضه‌ها در تعیین سهم مشارکت در دبی اوج کل حوضه است. زیرحوضه درکش ورکش با قرارگرفتن در رده سوم از نظر مساحت بیشترین تأثیر را بر دبی خروجی کل حوضه دارد. این نتایج با نتایج سلیمانی و همکاران (۱۳۸۷)، زهتابیان و همکاران (۲۰۱۰)، بهرامی و همکاران (۱۳۹۰) و کمالی و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد.

اولویت‌بندی بر اساس کاهش دبی به ازای واحد سطح نشان‌دهنده این است که عاملی غیر از مساحت از جمله موقعیت مکانی هر زیرحوضه نسبت به خروجی حوضه، در پتانسیل تولید سیل زیرحوضه‌ها نقش دارد. در مواردی که مساحت زیرحوضه‌ها اولویت‌بندی پتانسیل تولید سیل را تحت تأثیر قرار می‌دهد، این اولویت‌بندی را برای هر واحد سطح زیرحوضه می‌توان انجام داد.



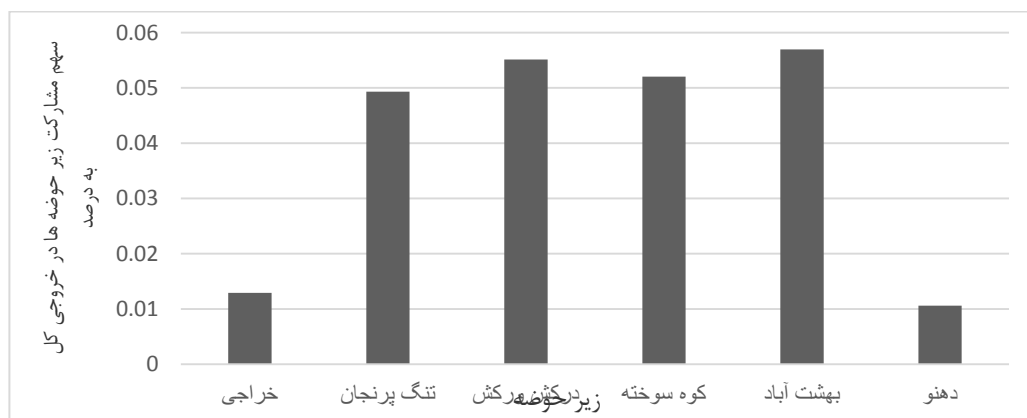
شکل ۵. مقایسه مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه

شاخص تعیین شدت تولید سیل به ازای واحد سطح حوضه، در اولویت‌بندی طراحی عملیات کنترل سیل به ازای هزینه و امکانات موجود از شاخص قبلی کارایی بیشتری دارد. در بخش‌های اجرایی نیز که مسائل اقتصادی طرح‌ها تعیین‌کننده است، میزان کاهش سیل خروجی به ازای واحد سطح زیرحوضه اهمیت بیشتری دارد. از آنجا که تقریباً تمامی روابط و فرمول‌ها مربوط به محاسبات دبی، وابسته به عامل مساحت است، تقریباً این موضوع بدیهی است که زیرحوضه‌های با مساحت زیاد، به دلیل دریافت نزولات بیشتر نسبت به زیرحوضه‌های کوچک، دبی بیشتری در خروجی‌شان تولید می‌کنند که البته این روند افزایشی تا حدی صحت دارد. شکل ۶ مقایسه مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه به ازای واحد سطح را نشان می‌دهد.

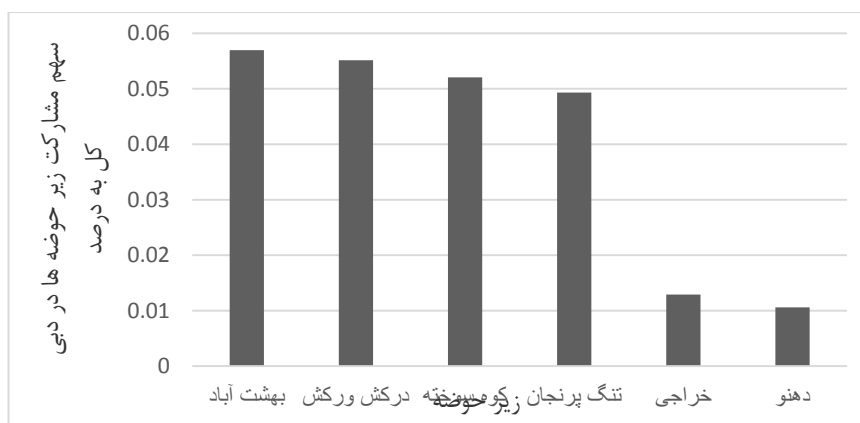
به منظور دستیابی به ویژگی‌های سیلاب بدون تأثیر مساحت هر زیرحوضه اقدام به تعیین میزان سیلاب خروجی از هر زیرحوضه و مشارکت آن در محل خروجی حوضه به ازای واحد سطح شد. در بخش اجرایی کنترل سیلاب نیز میزان کاهش سیل خروجی به ازای واحد سطح زیرحوضه اهمیت بیشتری دارد. نتایج نشان داد که زیرحوضه بهشت‌آباد با داشتن کمترین مساحت نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها بیشترین مشارکت و زیرحوضه تنگ دهنو کمترین مشارکت را در سیلاب کل حوضه داشته است. همان‌طور از جدول ۷ و شکل ۷ برمی‌آید، عامل مساحت تأثیری در اولویت‌بندی سیل‌خیزی در حوضه‌ها ندارد. حوضه خراجی با داشتن بیشترین مساحت در اولویت پنجم سیل‌خیزی است و تنگ دهنو با قرارگرفتن در اولویت دوم از نظر مساحت، در رده ششم سیل‌خیزی است. به دلیل مساحت، بالادست دبی اوج بالا حساسیت خود را در اولویت‌بندی برای سیل‌خیزی از دست می‌دهد. نصری و همکاران (۲۰۱۱) نیز نتیجه گرفتند مناطقی که در نزدیکی خروجی حوضه قراردارند بیشترین نقش را در تولید سیل دارند.

جدول ۷. اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها

اولویت‌بندی بر اساس مشارکت در دبی خروجی کل حوضه به ازای واحد سطح	اولویت‌بندی بر اساس مشارکت در دبی خروجی کل حوضه	اولویت‌بندی بر اساس مشارکت در دبی خروجی کل حوضه	اولویت‌بندی بر اساس دبی خروجی زیرحوضه	خروجی واحد سطح ازای واحد سطح	دبی خروجی به سطح	مقدار کاهش دبی	مقدار کاهش خروجی %	مقدار کاهش در دبی	مقدار کاهش خروجی ( $m^3/s$ )	مقدار کاهش در دبی خروجی ( $m^3/s$ )	مقدار کاهش خروجی ( $m^3/s$ )	دبی خروجی کل حوضه با حذف زیرحوضه ( $m^3/s$ )	دبی زیرحوضه ( $m^3/s$ )	زیرحوضه
۵	۲	۴	۴	۰/۰۱۲	۲۰/۸۳	۳۰۸/۴	۱۱۷۲	۳۷۱	۳۷۱	۱۱۷۲	۳۷۱	۳۷۱	۳۷۱	خرابی
۴	۴	۳	۳	۰/۰۴۹	۱۸/۲۹	۲۷۰/۸	۱۲۰۹/۶	۲۷۵/۹	۲۷۵/۹	۱۲۰۹/۶	۲۷۵/۹	۲۷۵/۹	۲۷۵/۹	تنگ پرنجان
۲	۱	۱	۱	۰/۰۵۵	۲۹/۱۶	۴۳۱/۸	۱۰۴۸/۶	۴۳۵/۲	۴۳۵/۲	۱۰۴۸/۶	۴۳۵/۲	۴۳۵/۲	۴۳۵/۲	درکش و رکش
۳	۳	۲	۲	۰/۰۵۲	۱۸/۹۴	۲۸۰/۵	۱۱۹۹/۹	۲۸۱/۸	۲۸۱/۸	۱۱۹۹/۹	۲۸۱/۸	۲۸۱/۸	۲۸۱/۸	کوه سوخته
۱	۶	۶	۶	۰/۰۵۶	۲/۵	۳۷/۱	۱۴۴۳/۳	۳۸/۱	۳۸/۱	۱۴۴۳/۳	۳۸/۱	۳۸/۱	۳۸/۱	بهشت‌آباد
۶	۵	۵	۵	۰/۰۰۱	۱۰/۰۱	۱۴۸/۲	۱۳۳۲/۲	۲۴۰/۶	۲۴۰/۶	۱۳۳۲/۲	۲۴۰/۶	۲۴۰/۶	۲۴۰/۶	دهنو



شکل ۶. مقایسه مشارکت زیر حوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه به ازای واحد سطح



شکل ۷. اولویت‌بندی نهایی زیر حوضه‌ها بر اساس مشارکت در دبی خروجی کل حوضه به ازای واحد سطح

## بحث و نتیجه‌گیری

- با توجه به کالیبره کردن مدل، ضریب تلفات اولیه هیدرولوژیکی (I) در رابطه SCS برای زیر حوضه‌های خراجی، تنگ پرنجان، درکش و رکش، کوه سوخته، بهشت‌آباد، و دهنو به ترتیب ۰/۱۶، ۰/۱۳، ۰/۱۳، ۰/۱۳، ۰/۱۳، ۰/۱۵ به دست آمد. کارایی مدل HEC-HMS در حوضه مورد مطالعه با استفاده از کنترل‌های صورت‌گرفته در خصوص دبی اوج، حجم سیلاب، زمان رسیدن به دبی اوج و شکل کلی هیدروگراف تأیید شد.

- نتایج اولویت‌بندی بر اساس دبی اوج زیر حوضه بدون روندیابی هیدروگراف سیل از محل زیر حوضه تا خروجی کل حوضه نشان‌دهنده این است که زیر حوضه درکش و رکش بیشترین و زیر حوضه بهشت‌آباد کمترین مقدار دبی اوج را با مقادیر ۳۳۵/۲ و ۳۸/۱ مترمکعب بر ثانیه با دوره بازگشت ۵۰ سال داراست.

- نتایج اولویت‌بندی از نظر دبی اوج، بر اساس سهم مشارکت هر زیر حوضه در محل خروجی حوضه نشان‌دهنده این است که زیر حوضه‌های درکش و رکش و بهشت‌آباد به ترتیب با ۲۹/۱۶ و ۲/۵ درصد بیشترین و کمترین سهم را در دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه بر عهده داشته که نشان‌دهنده تأثیر عواملی همچون مساحت، موقعیت مکانی، و خصوصیات فیزیوگرافی حوضه است.

- نتایج اولویت‌بندی براساس کاهش دبی به ازای واحد سطح نشان‌دهنده این است که زیرحوضه بهشت‌آباد با داشتن کمترین مساحت نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها بیشترین و زیرحوضه تنگ دهنو کمترین نقش و مشارکت را داشته است. همچنین، نشان‌دهنده این است که عاملی غیر از عامل مساحت از جمله موقعیت مکانی هر زیرحوضه، در پتانسیل تولید سیل زیرحوضه‌ها نقش دارد.

## منابع

- بهرامی، س. ع.؛ اونق، م.؛ فرازجو، ح. (۱۳۹۰). نقش روندیابی رودخانه در شناسایی و اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد بوستان از نظر سیل‌خیزی و ارائه راهکارهای مدیریتی، مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۱(۱)، پاییز: ۱۱-۲۶.
- درخشان، ش. (۱۳۸۹). مطالعه پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز کسلیان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۳، ۱۶، بهار: ۵۱-۶۳.
- رستمی‌زاد، ق.؛ خلیقی سیکارودی، ش.؛ مهدوی، م. (۱۳۹۲). واسنجی روش‌های مختلف برآورد تلفات بارش در مدل HEC-HMS به منظور شبیه‌سازی رواناب سطحی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن)، نشریه مرتع و آبخیزداری، ۶۶(۳): ۳۵۹-۳۷۲.
- شامحمدی، ش.؛ زمردیان، م. (۱۳۹۲). مقایسه مدل‌های SCS و SMA-B در برآورد سیلاب حوضه آبخیز رود زرد، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۷(۲۰): ۹-۱۷.
- تقیان، ب.؛ فرازجو، ح. (۱۳۸۶). تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیکی حوضه سد گلستان. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱: ۱۵۶-۱۶۷.
- سلیمانی، ک.؛ بشیر گنبد، م.؛ موسوی، س. ر.؛ خلیقی، ش. (۱۳۸۷). پتانسیل تولید سیل در حوضه‌های آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی حوضه معرف کسلیان). فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۵، پاییز: ۵۱-۶۰.
- کمالی، م.؛ سلیمانی، ک.؛ شاهی، ک.؛ نوشهری، ا.؛ گمرکچی، ا. (۱۳۹۴). تعیین نقاط سیل‌خیز و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در حوضه آبخیز باراجین شهر قزوین با استفاده از تلفیق مدل HEC-HMS و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۹ (۲۹): ۲۷-۳۴.
- رفیعی ساردویی، ا.؛ خلیقی سیکارودی، ش.؛ آذره، ع.؛ رستمی خلج، م. (۱۳۹۴). کاربرد مدل HEC-HMS در اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز بالادست سد کرج، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری، ۹(۲۸): ۵۳-۵۶.
- Bahrami, S.A.; Onagh, M.; Farazjoo, H. (2011). The Role of Flood routing in Determining and Priorizing of Hydrological Units Flooding in Boustan Dam and introduction Management solutions, Water and Soil Resources Conservation Journal, 1(1): 11-26.
- Choudhari, K.; Panigrahi, B.; Paul, J.C. (2014). Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India, International Journal of Geomatics and Geosciences, 5(2): 253-266.
- Derakhshan, Sh. (2010). Study of Flood Potential in Kasilian Watershed Using Geographic Information System, Applied Research in Geographic Sciences, 13(16): 51-63.
- Foody, G.M.; Ghoneim, E.N.; Arnell W.N. (2004). Predicting Location Sensitive to Glash Flooding in Arid Environment, Journal of Hydrology, 292:48-58.
- Heghedus, P.; Czigany, S.; Balatonyi, L.; Pirkhoffer, E. (2013). Sensitivity of the HEC-HMS Runoff Model for ear-surface Soil Moisture Contents on the Example of A Rapid- response Catchment in SW Hungary, Riscuri si Catastrofe, XII(12):125-137.
- Kamali, M.; Solaimani, K.; Shahedi, K.; Noshahri, A.; Gomrokchi A. (2015). Determining the Flooding Points and Prioritizing Subcatchments of Barajin Cachment of Qazvin Using HEC-HMS and GIS, Iran Watershed

- Management Science and Engineering, 9(29):27-34.
- Knebl, M.R.; Yang, Z.L.; Hutchison, K.; Maidment, D.R. (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event, *Journal of Environmental Management*, 75: 325-336.
- Kumar, D.; Bhattacharjya, R.K. (2011). Distributed Rainfall Runoff Modeling, *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6): 270-275.
- Nasri, M.; Soleimani, F.; Katani, M. (2011). Simulation of the Rainfall-Runoff Process Using of HEC-HMS Hydrological Model (A Case Study of Sheikh Bahaei Dam Basin), *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 54: 548-562.
- Rafiei Sardoi, E.; Khalighi Sigarood, Sh.; Azareh, A.; Rostami Khalaj, M. (2015). Application of HEC-HMS Model for Prioritization of Flooding Potential in Upper Karaj Dam Catchment, *Iran watershed Management Science and Engineering*, 9(28):53-56.
- Rostamizad, Gh.; Khalighi, Sh.; Mahdavi, M. (2012). Calibrating Different Approaches for Rainfall loss Estimation in HEC-HMS in order to Surface Runoff Simulating (Case Study: Can Watershed), *Range and Watershed Management Journal*, 66(3): 359-371.
- Saghafian, B.; Farazjoo, H. (2007). Determination Flood Producing Areas and Priorization of Hydrological Units in Golestan Dam Basin, *Iranian Watershed Management Science and Engineering Journal*, 1: 156-167.
- Shamohamadi, Sh.; Zomorodian, M. (2013). Comparing SCS and SMA-B Models in Flood Estimating in Zard River Basin, *Iran Watershed Management Science and Engineering Journal*, 7(20): 9-16.
- Soleimani, K.; Gonbad, M.B.; Mousavi, S.R.; Khalighi, Sh. (2008). Flood production Potential in Watersheds using HEC-HMS and Geographical Information Science (Case Study: Kasilian Basin). *Natural Geographic Researches*, 65: 51-60.
- Yusop, Z.; Chan, C.H.; Katimon, A. (2007). Runoff characteristics and application of HEC-HMS for modeling storm flow hydrograph in an oil palm catchment, *Water Science and Technology*, 56(8): 41-48.
- Zehtabiyani, Gh.; Ghoddusi, J.; Ahmadi, H.; Khalilzadeh, M.; Moghali, M. (2010). Assessment of the Flood Potential Ranking of Sub-basins and Determination of Flood Source Areas, *Journal of Environmental Hydrology*, 18(24): 1-9.