

## اولویت‌بندی مناطق منشا سیلاب در حوضه سد درونگر با استفاده از

### مدل‌سازی هیدرولوژیکی

عرفان محمودی<sup>۱</sup>، محمود آذری<sup>۲</sup>، محمدتقی دستورانی<sup>۳\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

### چکیده

سیلاب‌های حاصل از رگبار یکی از مهمترین مخاطرات طبیعی حوضه های آبخیز کشور است که همه ساله خسارات زیادی به بخش‌های مختلف وارد می‌کند از این رو، برنامه ریزی و مهار سیلاب برای کاهش خطرات احتمالی از اولویت‌های ویژه محسوب می‌شود. از جمله اقداماتی که برای کاهش خطر سیلاب مطرح است، مهار سیل در مناطق منشاء سیلاب است. هدف اصلی این پژوهش تعیین مناطق منشاء سیلاب در مقیاس زیرحوضه در حوضه آبخیز سد درونگر در استان خراسان رضوی است که با استفاده از مدل *ModClark* در مدل *HEC-HMS* انجام شد. برای این منظور ورودی‌های مدل با نرم افزار *ArcGIS* استخراج شد و سپس مدل با ۶ واقعه رگبار و آنمود متناظر واسنجی و اعتبارسنجی شد. در مرحله بعد، به منظور تعیین مناطق منشاء سیلاب رگبارهای با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال به مدل وارد شد و با استفاده از شاخص سیل‌خیزی، زیرحوضه‌های مختلف اولویت بندی شد. نتایج شبیه‌سازی مدل *HEC-HMS* با توجه به مقادیر *NSE* (۰/۷۹۷ تا ۰/۹۷۳)، *RMSE* (۰/۲ تا ۰/۴) و *PBIAS* (۲۳/۱۴ تا ۱۳/۹۴ درصد) دلالت بر کارایی مدل در محدوده مطلوب تا بسیار خوب دارد. نتایج اولویت بندی برای دوره بازگشت‌های مختلف نیز متفاوت بود اما در مجموع اختلاف، معنی دار نبود. در دوره بازگشت ۲۵ سال زیرحوضه‌های ۵۳، ۹ و ۵۶ بیشترین مشارکت در دبی اوج حوضه و در دوره بازگشت ۵۰ سال زیرحوضه‌های ۵۳، ۶۶ و ۳۷ بیشترین مشارکت را داشته‌اند. زیرحوضه های ۶۶، ۵۶، ۵۳، ۵۲، ۶۷ و ۷۱ بر اساس هر ۶ شاخص مورد بررسی در طبقه بسیار سیل خیز قرار گرفته اند که می‌تواند به عنوان زیرحوضه‌های منتخب در برنامه‌های کنترل سیلاب حوضه مد نظر قرار بگیرد.

**کلید واژه‌ها:** اولویت بندی حوضه، سیل‌خیزی، *ModClark*، پاسخ سیل واحد، *HEC-HMS*.

## مقدمه

هیدرولوژیکی مختلفی شامل مدل‌های توزیعی، نیمه توزیعی و یکپارچه بکار گرفته شده است (ثقفیان و همکاران، ۲۰۱۰): بون، ۲۰۰۰؛ منصوری و پیرمردیان، ۱۳۹۷). مدل‌های توزیعی به دلیل اینکه فرایندهای هیدرولوژیکی را با لحاظ پارامترهای مکانی و زمانی شبیه‌سازی می‌کنند توانایی تعیین مناطق منشا سیلاب را دارا می‌باشند (قویدل‌فر و همکاران، ۲۰۱۱). مدل‌های توزیعی در تلفیق با تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مکانی دقیق، امکان شبیه‌سازی پاسخ یک حوضه آبخیز به یک بارندگی با ویژگی‌های خاص را فراهم می‌کند. در مدل‌های توزیعی با ساختار شبکه‌ای، یک حوضه آبخیز به سلول‌هایی کوچکتر تقسیم می‌شود و پارامترهای مدل بر اساس ویژگی فیزیکی حوضه، نوع خاک و کاربری اراضی موجود در آن سلول تعیین می‌شود.

در سال‌های اخیر، روش‌های متعددی برای تعیین مناطق مولد سیل در مطالعات مختلف به کار گرفته شده است. آذری و همکاران (۱۳۸۷) به منظور تعیین میزان سیلاب خروجی و میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در حوضه آبخیز جاغرق در استان خراسان رضوی از مدل HEC-HMS استفاده کردند. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های بالادست و یکی از زیرحوضه‌های نزدیک به خروجی حوضه بالاترین میزان مشارکت در دبی و حجم کل سیلاب را داشته‌اند. همتی و همکاران (۲۰۱۷) با هدف تعیین شدت سیلاب و تعیین اولویت مناطق بالقوه تولید سیل بر اساس رویکرد پاسخ واحد، از مدل هیدرولوژیکی توزیع شده ModClark برای حوضه آبخیز قراقرق در استان آذربایجان شرقی استفاده کردند. نتایج شاخص شدت سیلاب نشان داد که زیرحوضه آلموچای مهمترین زیرحوضه از نقطه نظر مشارکت در دبی اوج سیل است. رضایی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش واکنش سیلاب واحد و مدل توزیع شده ModClark مناطق منشا سیلاب را در حوضه آبخیز خانمیرزا تعیین کردند. نتایج نشان داد که مدل در پیش‌بینی میزان سیل و تخلیه اوج خطای کمتری دارد و دوری و نزدیکی از خروجی حوضه عامل تعیین کننده در میزان سیل‌خیزی حوضه نمی‌باشد. همچنین رابطه خطی مثبت آماری معنی داری بین مناطق منشا سیلاب و عدد شماره منحنی (CN) در هر سلول مشاهده شد. سامانتا و همکاران (۲۰۱۸) از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و نسبت فرکانس (FR)

سیل از مهمترین مخاطرات طبیعی است که به دلیل موقعیت خاص اقلیمی، پستی و بلندی و رژیم بارندگی ویژه کشور، آسیب‌های جانی و مالی زیادی را در سال‌های گذشته به بار آورده است (کاظمی و پورهت، ۲۰۲۱). مطالعات نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۳۳۱ تا ۱۳۴۰ تعداد ۲۰۱ مورد سیل در کشور به وقوع پیوسته در حالی که در سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۰ با افزایش دو برابری به ۴۰۲ مورد رسیده است (شریف، ۱۳۸۱). سیلاب‌های بهار سال ۱۳۹۸ از ۳۱ استان کشور ۲۵ استان را تحت تاثیر قرار داد و منجر به آبرگرفتگی حدود ۵۰۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی، تخریب و آبرگرفتگی مناطق مسکونی، سازه‌ها، راه‌های ارتباطی و کشته شدن حدود ۱۰۰ نفر از هموطنان گردید و خساراتی بالغ بر ۳۰ تا ۳۵ هزار میلیارد تومان برجا گذاشت (وزارت کشور، ۱۳۹۸). از این رو، برنامه ریزی و کنترل سیلاب برای کاهش خطرات احتمالی از اولویت‌های سازمان‌های مربوطه در کشور می‌باشد که نیازمند مطالعه رفتار سیلاب می‌باشد. از جمله اقداماتی که برای کاهش خطر سیلاب مطرح است، مهار سیل در منشاء و مناطق سیل‌خیز می‌باشد. به طور کلی، سیل‌خیزی میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در مقدار کل سیل در خروجی حوضه تعریف می‌شود (ثقفیان و فرازجو، ۱۳۸۶). به دلیل وسعت زیاد حوضه‌های آبخیز و محدودیت‌های اقتصادی و اجرایی، کنترل سیل در سطح وسیع نه تنها عملی نیست، بلکه ممکن است اثرات معکوس داشته باشد (ثقفیان و فرازجو، ۱۳۸۶). مطالعات مختلف بیانگر آن است که شناسایی مناطقی که بیشترین نقش در ایجاد سیل در حوضه‌های آبخیز را دارند، برای کاهش خطرات سیل و عملیات مهار سیل ضروری است (بهات و همکاران، ۲۰۱۴). بر همین اساس، شناسایی مناطق منشا سیل در یک حوضه، برای اجرای عملیات کنترل و مدیریت سیلاب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۵).

برنامه ریزی برای شناسایی مناطق منشاء سیلاب و کنترل و مدیریت آن مستلزم درک دقیق فرایند بارش-رواناب است. مدل‌سازی هیدرولوژیکی آبخیز یکی از روش‌های اصلی برای تعیین مناطق سیل‌خیز است (ژائو و همکاران، ۲۰۱۹؛ خسروی و همکاران، ۲۰۱۸). بدین منظور مدل‌های

برای تعیین نقشه حساسیت سیل در گینه پاپوا استفاده کردند. در این مطالعه از ده متغیر مستقل (کاربری اراضی/ پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، رواناب سطحی، فرم زمین، سنگ شناسی، فاصله از رودخانه اصلی، بافت خاک و زهکشی خاک) استفاده شد. نتایج نشان داد که پارامترهای زهکشی خاک، شیب، ارتفاع و فاصله از رودخانه اصلی بیشترین تاثیر در سیلاب را داشته‌اند. ملک و همکاران (۲۰۲۰) برای پیش بینی مناطق بسیار مستعد سیل در رودخانه کویای حوضه بنگال در هند از مدل‌های AHP، FL، KD و LR در منطقه بنگال از چهارده پارامتر موثر در ایجاد سیل شامل شاخص NDVI، بارندگی، شاخص قدرت جریان (SPI)، کاربری اراضی و پوشش زمین (LULC)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، زمین شناسی، خاک، شیب، ارتفاع، تراکم زهکشی انحنای طرح، انحنای مشخصات، جهت و فاصله از رودخانه استفاده کردند. اعتبارسنجی مدل با استفاده از منحنی AUC انجام شد و مشخص شد روش LR در مقایسه با AHP، FL و KD دارای دقت بیشتری است. فتحعلی زاده و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی کارایی مدل HEC-HMS به همراه روش‌های مدل سازی هیدرولوژیکی HEC-GeoHMS برای ارزیابی و شناسایی مناطق مستعد سیلاب یا مناطقی که پتانسیل بالاتری برای تغییر بارندگی به رواناب دارند پرداختند. تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که شیب، کاربری زمین، پوشش گیاهی و فرم زیرحوضه‌ها به دلیل تاثیر بیشتر بر پارامترهایی مانند نفوذپذیری، تلفات بارندگی، زمان تأخیر و زمان تمرکز از اهمیت زیادی برخوردارند. اوسی و همکاران (۲۰۲۱) از یک روش مبتنی بر GIS برای ترسیم مناطق مستعد سیل در منطقه معدن تارکوا استفاده کردند. آنان نقشه مناطق مستعد سیل را با ادغام نقشه شیب و نقشه‌های شبکه جریان ایجاد نمودند. نتایج نشان می‌دهد که در حدود ۴۲/۵ درصد از منطقه مورد مطالعه بسیار مستعد سیلاب می‌باشد که عمدتاً از زمین‌های کشاورزی تشکیل شده است.

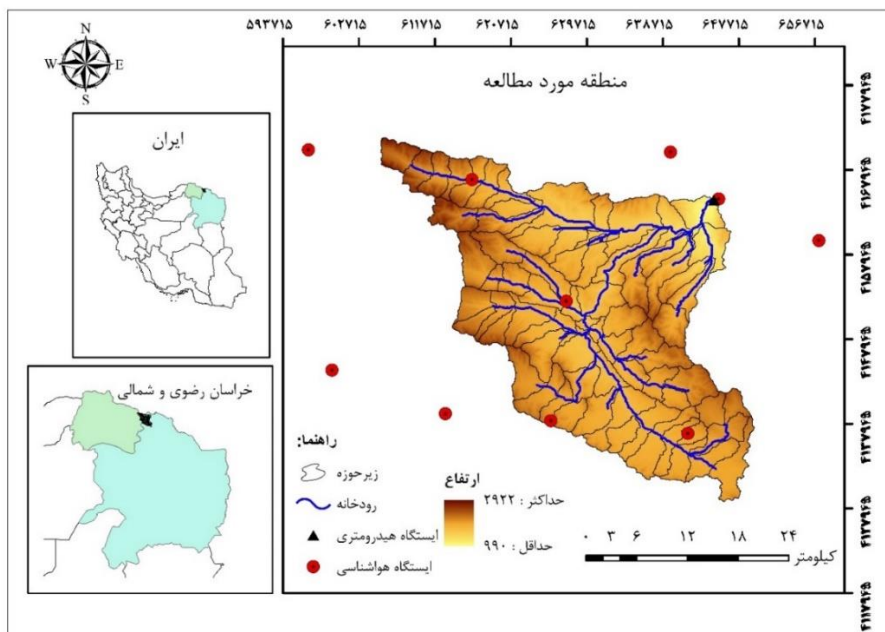
تاکنون روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای تعیین مناطق سیل‌خیز انجام شده است اما کارایی روش‌ها در شرایط اقلیمی و محیطی متفاوت همچنان نیازمند پژوهش‌های منطقه‌ای است. همچنین در مطالعات قبلی تنها برخی از روش‌ها مانند مشارکت در دبی اوج خروجی از حوضه مورد

بررسی قرار گرفته است و سایر معیارها مانند دبی ویژه و حجم رواناب تولیدی در واحد سطح مورد بررسی قرار نگرفته است. از این رو هدف این پژوهش بررسی کارایی مدل ModClark در برنامه HEC-HMS و تعیین مناطق مولد سیلاب در بخشی از حوزه سد درونگر است و در مرحله بعد با استفاده از ۶ شاخص سیل‌خیزی، رتبه بندی زیرحوضه‌ها انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز این تحقیق بخش بالادست حوضه سد درونگر تا ایستگاه هیدرومتری محدثی بیگ است که در شهرستان درگز در استان خراسان رضوی و در مجاورت مرز ترکمنستان قرار گرفته است. وسعت حوضه ۹۴۱/۱ کیلومترمربع است که در این تحقیق به ۷۴ واحد هیدرولوژیک تقسیم شده است (شکل ۱). وضعیت توپوگرافی حوضه کوهستانی بوده و ارتفاع متوسط آن ۱۹۵۶ متر است که از ارتفاع ۹۹۰ متر در محل خروجی حوضه تا ارتفاع ۲۹۲۲ متر واقع در ارتفاعات شمال غربی حوضه متغیر است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه حوضه ۳۰۴/۲ میلیمتر و شیب متوسط برابر با ۳۴/۳۵ درجه است. بیش از ۳۹ درصد مساحت حوضه را مراتع متوسط و ۲۱/۱ درصد از مساحت را جنگل‌های بسیار کم تراکم و کاربری های اراضی کشاورزی (۲۰ درصد)، مناطق مسکونی (۴/۱ درصد) و سایر کاربری‌ها (۸/۴ درصد) در رده‌های بعدی قرار دارند. شکل (۱) موقعیت حوضه مورد مطالعه را در استان خراسان رضوی و کشور نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز سد درونگر در استان خراسان رضوی و ایران

مدل ابزارهایی برای واسنجی خودکار و بهینه‌سازی پارامترها نیز قرار داده شده است (USACE, 2000). در این تحقیق برای تعیین تلفات از روش شماره منحنی شبکه بندی شده، برای تبدیل بارش به رواناب از روش ModClark، برای مدل جریان آب پایه از روش Recesson و روندیابی رودخانه با روش Lag انجام شد. بدین منظور نیاز به داده‌های بارندگی و رواناب، مدل ارتفاع رقومی (DEM)، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک می‌باشد. جهت آماده سازی داده‌های ورودی در مرحله‌ی اول DEM منطقه با اندازه سلولی ۳۰ متر از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) دریافت گردید و با استفاده از اکستنشن HEC-GeoHMS پیش پردازش‌های اولیه برای استخراج زیرحوضه‌ها، مسر جریان حوضه و پارامترهای فیزیکی حوضه انجام گرفت. در مرحله بعد نقشه شماره منحنی شبکه بندی شده، با استفاده از نقشه‌های رقومی کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک و پوشش گیاهی تهیه شد. این نقشه‌ها از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی دریافت شدند (جدول (۱) عدد شماره منحنی هر طبقه کاربری اراضی در گروه‌های مختلف هیدرولوژیکی خاک را نشان می‌دهد.

### آماده سازی و اجرای مدل HEC-HMS

در این تحقیق از مدل هیدرولوژی توزیع مکانی ModClark در برنامه HEC-HMS استفاده شد که توسط پیترز و ایستون (۱۹۹۶) توسعه یافته است. برنامه HEC-HMS برای شبیه‌سازی هیدرولوژی حوضه و فرآیند بارش-رواناب توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا حوزه‌های آبخیز درختی ارایه شده است (HEC, 2010). این برنامه هم از مدل سازی یکپارچه و هم از مدل‌سازی توزیعی پشتیبانی می‌کند. این مدل برای شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در طیف وسیعی از مناطق جغرافیایی و حوضه‌های متعدد از حوضه‌های بزرگ رودخانه‌ای تا حوضه‌های کوچک شهری قابل استفاده است (چادھاری و همکاران، ۲۰۱۴). مدل HEC-HMS دارای سه بخش اصلی به نام‌های مدل حوضه، مدل بارش و مدل کنترل می‌باشد و همچنین دارای چندین زیرمدل از جمله نفوذ، روندیابی جریان سطحی، آب پایه و روندیابی جریان رودخانه‌ای برای شبیه‌سازی فرایندهای مختلف هیدرولوژیکی حوضه می‌باشد. برای شبیه سازی فرآیند بارش- رواناب، داده‌های اقلیمی مانند بارش روزانه، تبخیر و تعرق بالقوه، میزان رواناب مشاهده‌ای و اطلاعات جغرافیایی حوضه مورد نیاز است. همچنین برای واسنجی

جدول ۱- شماره منحنی طبقات مختلف کاربری زمین و گروه‌های هیدرولوژیکی

گروه هیدرولوژیکی خاک				درصد مساحت	کاربری زمین
D	C	B	A		
۸۳	۷۷	۶۶	۴۵	۲۶.۸۶	جنگل کم تراکم
۸۰	۷۴	۶۱	۳۹	۵.۹۵	مرتع خوب
۸۴	۷۹	۶۹	۴۲	۳۹.۸۶	مرتع متوسط
۸۹	۸۶	۷۹	۶۸	۹.۴	مرتع ضعیف
۸۸	۸۴	۷۶	۶۵	۱۶.۲	کشت دیم
۸۶	۸۲	۷۵	۶۵	۰.۸۵	کشت آبی
۷۹	۷۳	۶۰	۳۶	۰.۷۴	باغ
۴۱	۴۰	۳۹	۳۸	۰.۱۴	روستا

$$Tc = 0.885 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad \text{رابطه (۱)}$$

برای محاسبه ضریب ذخیره از روش تجربی نش استفاده شد (رابطه ۲) که در آن A مساحت حوضه برحسب کیلومتر مربع، L طول آبراهه اصلی برحسب کیلومتر، S شیب حوضه و K ضریب ذخیره برحسب ساعت می‌باشند. همچنین زمان تاخیر هر زیر حوضه با استفاده از رابطه (۳) بدست آمد و به مدل وارد شد (مهدوی، ۱۳۹۲).

$$K = \frac{1.2A^{0.3}}{L^{0.1}S^{0.3}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Lag = \frac{l^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900Y^{0.5}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳) Lag زمان تاخیر (ساعت)، l طول جریان (فوت)، S توان تلفات حوضه (اینچ) و Y شیب متوسط می‌باشد.

#### آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبار سنجی مدل

برای تعیین پارامترهای مناسب به منظور واسنجی مدل، آنالیز حساسیت مدل انجام شد. آنالیز حساسیت به این معنی است که تغییر در متغیرهای مستقل (پارامترهای مدل) در یک محدوده مشخص چگونه می‌تواند بر روی متغیرهای وابسته (دبی سیلاب) تأثیر بگذارد. به این منظور، آنالیز حساسیت برای پارامترهای شماره منحنی، زمان تاخیر، ضریب ذخیره و CNRatio به روش دستی انجام گرفت. به این صورت که هر پارامتر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد تغییر داده شد و مقدار تغییر آنمود سیلاب در خروجی حوضه تعیین شد. در این مطالعه

در مدل ModClark برای هر بازه‌ی زمانی در مدل بارش-رواناب باید یک نقشه شبکه بندی بارش در قالب یک فایل DSS بر اساس سیستم SHG(Standard Hydrologic Grid) معرفی شود که در این تحقیق از بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای استفاده شد. این بازه زمانی با لحاظ دقت زمانی قابل قبول برای پیش‌بینی سیلاب و همچنین امکانات نرم‌افزاری برای انجام محاسبات انتخاب شد. بدین منظور ابتدا داده‌های بارش ثبت شده در ۱۰ ایستگاه باران سنج منطقه و ایستگاه بارانسنجی ثابت درگز و همچنین آنمود سیلاب‌های ثبت شده در ایستگاه محمد تقی بیگ در خروجی حوضه، از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی اخذ گردید. سپس با بررسی داده‌ها، رگبارهای منفردی که آنمود سیلاب کاملی داشتند، انتخاب شد. سپس با استفاده از باران نگار ایستگاه بارانسنجی ثابت درگز باران نگار بارش برای رگبارهای منتخب در بازه زمانی ۱۵ دقیقه تهیه گردید و با استفاده از آن نقشه‌های شبکه ای بارندگی برای واقعه‌های بارش-سیلاب ثبت شده تهیه شد. این نقشه‌ها به صورت شبکه‌ای بوده که با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-GridUtil2.0 و HEC-DssVue2.0.1 فایل‌های ASCII ساخته شد و به فرمت DSS تبدیل گردید.

برای محاسبه زمان تمرکز حوضه و زیرحوضه‌ها، از روش کالیفرنیا به صورت رابطه (۱) استفاده شد (مهدوی، ۱۳۹۲). در رابطه (۱) Tc زمان تمرکز به ساعت، L طولانی‌ترین مسیر جریان در داخل حوضه به کیلومتر و H اختلاف ارتفاع بین بالاترین و پایین‌ترین نقطه حوضه بر حسب متر می‌باشد.

سیل واحد استفاده شد (تقیان و خسروشاهی، ۲۰۰۵). در این روش با حذف هر زیرحوضه، آبنمود سیل متناظر با بارش‌های طراحی برای هر یک از زیرحوضه‌ها شبیه‌سازی شد. در مرحله بعد وضعیت سیل‌خیزی حوضه با حذف متوالی زیرحوضه‌ها در هر بار اجرای مدل و برآورد میزان دبی خروجی و حجم سیلاب کل حوضه تعیین شد (رضایی و همکاران، ۲۰۱۷). در نهایت اولویت بندی زیرحوضه‌ها با رابطه‌های (۷) و (۸) انجام شد.

$$F = \left(\frac{\Delta Q}{Q}\right) \times 100 \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$f = \frac{F}{A} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در رابطه‌های (۷) و (۸) سهم مشارکت زیرحوضه در دبی خروجی از کل حوضه (٪)،  $\Delta Q$  میزان کاهش دبی در اثر حذف زیرحوضه در خروجی کل حوضه ( $m^3/s$ )،  $Q$  دبی حداکثر لحظه‌ای حوضه ( $m^3/s$ )،  $f$  سهم مشارکت زیرحوضه از سیلاب خروجی از کل حوضه در واحد سطح و  $A$  مساحت زیرحوضه مورد نظر می‌باشند (تقیان و خسروشاهی، ۲۰۰۵). سپس زیرحوضه‌های مختلف بر اساس شاخص‌های ۶ گانه رتبه بندی شدند و با استفاده از ضریب همبستگی رتبه ای اسپیرمن مورد مقایسه قرار گرفت.

## نتایج و بحث

### واسنجی، اعتبارسنجی و آنالیز حساسیت مدل

نتایج آنالیز حساسیت برای پارامترهای منتخب شامل زمان تمرکز، زمان تاخیر، ضریب ذخیره، CNratio و شماره منحنی نشان داد که پارامترهای مربوط به شماره منحنی (نقشه شماره منحنی و CNratio) بیشترین و ضریب ذخیره کمترین حساسیت را نسبت به تغییرات نشان دادند. غریب و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه‌های تنگراه و طالبی و همکاران (۱۳۹۸) در حوضه اسکندری هم شماره منحنی را حساس‌ترین پارامتر مطالعه گزارش کردند. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت و حساسیت ناچیز ضریب ذخیره، واسنجی مدل با سایر پارامترهای حساس انجام شد. با توجه به مقدار متغیر آن در زیرحوضه‌های مختلف دامنه تغییرات و مقدار متوسط پارامترها در جدول (۲) ارایه شده است. همچنین در

واسنجی مدل به صورت نیمه‌دستی با روش Simple-Split Sample Test انجام شد (اون و پارکین، ۱۹۹۶). در این روش، سیلاب‌های مشاهداتی به دو دسته تقسیم می‌شوند. پارامترهای مدل با یک گروه از داده‌ها واسنجی شده، و با داده‌های گروه دوم واسنجی می‌شود و در نهایت هیدروگراف مشاهده‌ای و هیدروگراف شبیه‌سازی شده با یکدیگر مقایسه می‌شود. به منظور بررسی میزان کارایی مدل، از شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و درصد خطا (PBIAS) استفاده شد که به ترتیب در رابطه‌های (۴)، (۵) و (۶) ارایه شده است. در این رابطه‌ها  $Q_{obs}$  بیانگر دبی مشاهداتی و  $Q_{sim}$  بیانگر دبی محاسباتی می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{n}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \right] \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$PBIAS = 100 \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs})} \right] \quad \text{رابطه (۶)}$$

### تعیین مناطق منشاء سیلاب

پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل به منظور تعیین مناطق منشا سیلاب از شاخص‌های مختلف استفاده شد بدین منظور ابتدا مقدار بارندگی ایستگاه‌ها برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله با استفاده از نرم‌افزار SMADA برآورد شد. سپس الگوی کلی رگبار منطقه بر اساس روش پیل‌گریم (۱۹۷۵) با استفاده از ۱۰ رگبار ۷ ساعته (برابر با زمان تمرکز حوضه) در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای بدست آمد و نقشه سلولی بارندگی هر دوره بازگشت تهیه شد. سپس این رگبارها به مدل واسنجی شده وارد شد و مدل اجرا گردید. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل: دبی سیلاب در خروجی زیرحوضه، حجم سیلاب در خروجی زیرحوضه، دبی سیلاب در واحد سطح و حجم سیلاب در واحد سطح زیرحوضه و همچنین میزان مشارکت در دبی و حجم سیلاب هر زیرحوضه در خروجی اصلی حوضه استفاده شد. برای تعیین مشارکت زیرحوضه‌ها در محل خروجی حوضه نیز از روش پاسخ

جدول (۳) نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای وقایع  
متتخ‌بارش و رواناب نشان داده شده است. در شکل‌های  
(۲) و (۳) نیز آبنمود خروجی حوضه برای هر یک از

جدول ۲- مقادیر پارامترهای واسنجی شده در زیرحوضه‌های مختلف

پارامتر			قبل از واسنجی			بعد از واسنجی مدل		
			کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
CNratio			۰/۱	۰/۱۴	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵
زمان تمرکز (ساعت)			۰/۲	۴/۶۸	۱/۳۹	۰/۶۵۴	۳/۳۱۰	۱/۴۱۱
CN			۶۰	۹۶/۵	۷۸/۲۵	۷۲/۷۰۴	۸۱/۵۴۳	۷۶/۶۷
زمان تاخیر آبراهه (ساعت)			۰/۰۲	۱۰۷	۱۴/۲۳	۰/۰۳۴	۷۴/۲۴۴	۱۴/۲۲۶

جدول ۳- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS برای وقایع مورد استفاده

شاخص‌های کارایی			زمان اوج سیلاب		دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)		واقعه سیل	
Percent Bias	RMSE	Nash-Sutcliffe	شبه‌سازی	مشاهداتی	شبه‌سازی	مشاهداتی	مرحله	تاریخ
۸/۱۰	۰/۲	۰/۹۴۳	۱۶:۱۵	۱۶:۰۰	۴۸/۶	۴۹/۲	واسنجی	۱۳۷۰/۰۲/۲۱
۱۳/۹۴	۰/۴	۰/۷۹۸	۱۰:۱۵	۱۰:۰۰	۷۶/۷	۷۴/۳		۱۳۷۱/۰۲/۲۳
-۲۳/۱۴	۰/۳	۰/۹۰۸	۰۱:۱۵	۰۱:۰۰	۹۱	۹۲/۶		۱۳۷۱/۰۳/۱۵
-۱۲/۳۴	۰/۲	۰/۹۷۳	۱۰:۱۵	۱۰:۰۰	۸۴	۸۸/۴		۱۳۷۷/۱۲/۰۲
-۱۹/۱۵	۰/۴	۰/۸۲۶	۱۶:۳۰	۱۶:۳۰	۱۰۷/۵	۱۱۰/۶	اعتبارسنجی	۱۳۷۱/۰۳/۱۸
۳/۷۳	۰/۳	۰/۸۹۹	۲۳:۳۰	۰۰:۰۰	۵۷/۷	۵۸		۱۳۸۱/۰۲/۱۴

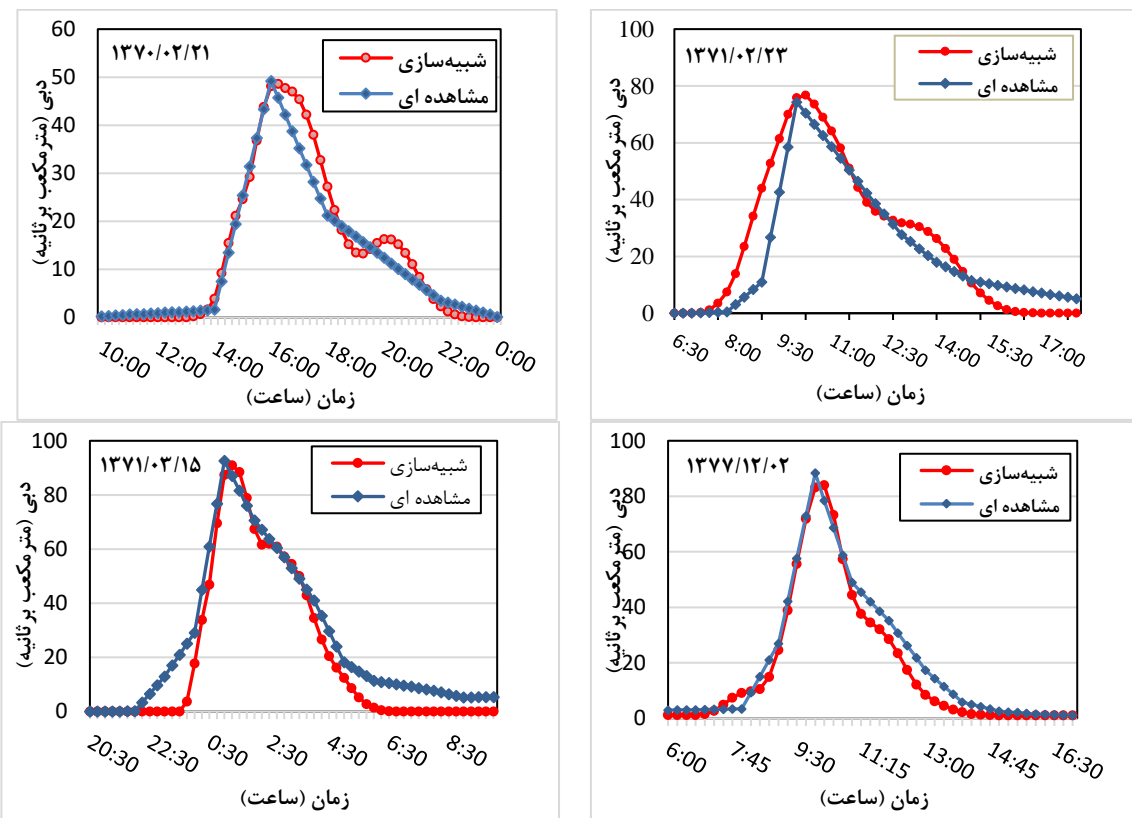
واسنجی و ارزیابی مدل اختلاف دبی اوج و زمان رسیدن به اوج آبنمود در آبنمودهای مشاهده‌ای و شبه‌سازی شده به ترتیب به طور میانگین ۱/۳ درصد و ۲۰ دقیقه می‌باشد (جدول ۲)، که با نتایج قویدل فر و همکاران (۲۰۱۱)، پرسیای و همکاران (۱۳۹۳) مبنی بر کارایی خوب مدل HEC-HMS در شبه‌سازی دبی اوج به روش توزیعی مادکلارک مطابقت دارد. مقایسه آبنمودهای مشاهده‌ای و شبه‌سازی شده پس از واسنجی و اعتبارسنجی (شکل‌های (۲) و (۳)) نشان می‌دهد که در اکثر موارد بازوهای بالارونده آبنمود محاسباتی بر آبنمود مشاهداتی تقریباً منطبق است و مقدار دبی پیک با توجه به تمایل به مقداری کم برآوردی تقریباً با هم مساوی هستند که نشان‌دهنده آن است که مدل به خوبی توانسته خصوصیات فیزیکی و پوشش سطح زمین و ویژگی‌های بارندگی را شبه‌سازی کند. با این

مقادیر NSE، RMSE و PBIAS بدست آمده با سطوح ارزیابی ارایه شده توسط باربوسا و همکاران (۲۰۱۹) مقایسه شد که با توجه به اینکه مقادیر NSE از ۰/۷۹۷ تا ۰/۹۷۳ می‌باشد در محدوده بسیار خوب و مقادیر RMSE که از ۰/۲ تا ۰/۴ بدست آمده در محدوده خوب و مقادیر PBIAS که از -۲۳/۱۴ تا ۱۳/۹۴ درصد قرار دارند در محدوده کارایی از مطلوب تا بسیار خوب قرار گرفته‌اند. نتایج میزان خطاها در جدول (۳) نشان دهنده عملکرد خوب مدل می‌باشد که نسبت به مطالعات مشابه در کشور دقت قابل قبولی دارد (قویدل فر و همکاران، ۲۰۱۱؛ غریب و همکاران، ۲۰۱۸؛ کاظمی و پورهمت، ۱۳۹۹).

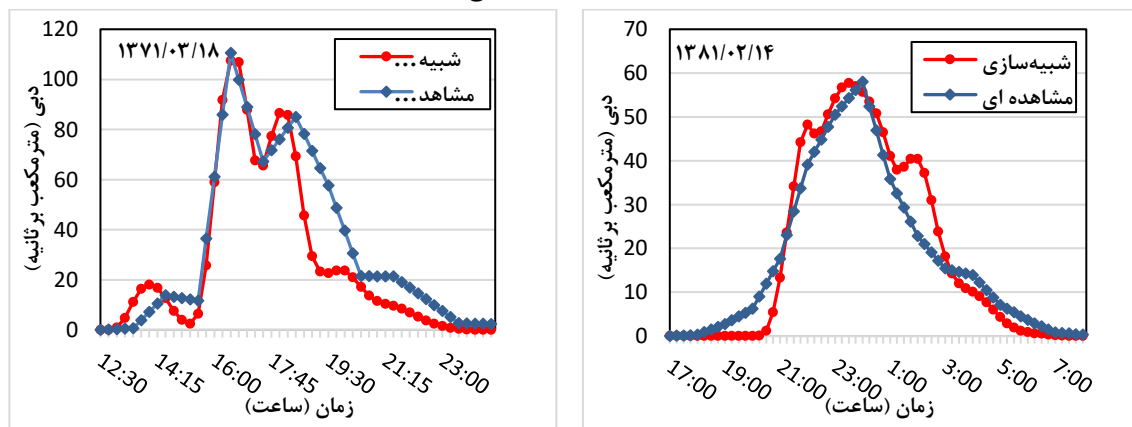
نتایج حاصل از ارزیابی مدل HEC-HMS نشان می‌دهد که مدل در پیش بینی دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج نتایج بسیار خوبی را ارائه می‌نماید، به طوری که در مراحل

همکاران، ۱۳۸۸) و (پریسای و همکاران، ۱۳۹۳) مطابقت دارد. همچنین این اختلاف در بازوها تا حدودی می‌تواند به دلیل این باشد که داده‌های مشاهداتی در بازه‌های ۲ ساعته برداشت شده‌اند در حالی که شبیه‌سازی در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای انجام گرفته است. با توجه به مقادیر ضریب ناش-ساتکلیف برای رخدادهای بارندگی در جدول (۳)، فرآیند واسنجی مدل قابل قبول بوده و بیانگر کارایی مدل در شبیه‌سازی حجم رواناب و دبی اوج می‌باشد.

حال در بازوی پایین رونده آبنمودهای مشاهداتی و محاسباتی انطباق کاملی دیده نمی‌شود. با توجه به این که بازوی پایین رونده آبنمود بیانگر شرایط زهکشی حوضه است و فروکش کردن سیل از نقطه عطف به بعد مستقل از خصوصیات بارش بوده (علیزاده، ۱۳۸۷)، این عدم انطباق می‌تواند به نقشه نوع خاک، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، نقشه کاربری اراضی دریافتی و روش به کار رفته برای محاسبه تلفات بستگی داشته باشد که با نتایج (آذری و



شکل ۲- آبنمود مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل برای وقایع مورد استفاده در واسنجی مدل



شکل ۳- آبنمود مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل برای وقایع مورد استفاده در اعتبارسنجی مدل



## نتایج تحلیل سیل خیزی زیرحوضه‌ها

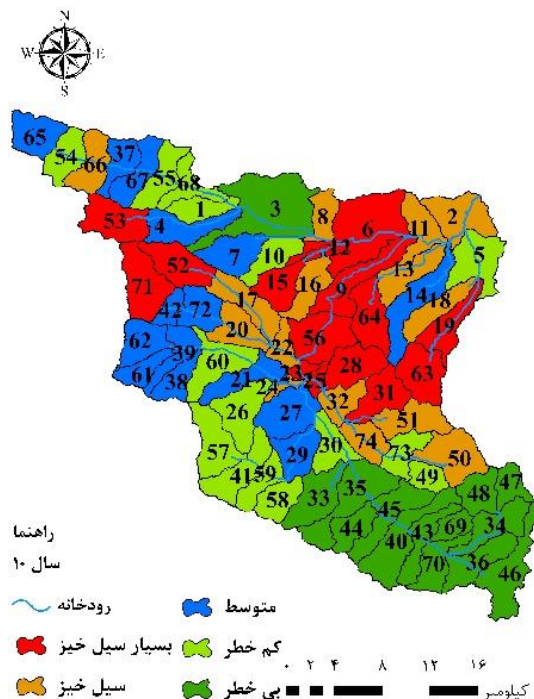
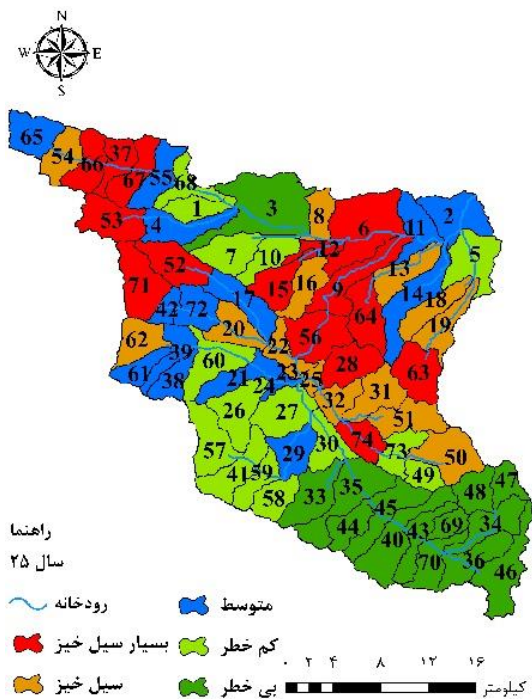
در این مطالعه جهت تعیین شدت سیل‌خیزی از شاخص‌های شاخص‌های دبی سیلاب و حجم سیلاب در خروجی هر زیرحوضه، دبی سیلاب و حجم سیلاب در واحد سطح هر زیرحوضه و همچنین میزان مشارکت در دبی و حجم سیلاب در خروجی حوضه در واحد سطح استفاده شد. در جدول (۴) اولویت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها بر اساس شاخص مشارکت واحد سطح زیرحوضه در دبی و حجم سیلاب خروجی حوضه، برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال ارایه شده است. نتایج نشان داد که در دوره بازگشت ۱۰ سال زیرحوضه‌های ۹، ۵۶ و ۲۸ بیشترین مشارکت و زیرحوضه‌های ۴۴، ۶۹ و ۴۳ کمترین مشارکت در دبی اوج خروجی را داشته‌اند. در دوره بازگشت ۲۵ سال زیرحوضه‌های ۵۳، ۹ و ۵۶ بیشترین مشارکت و زیرحوضه‌های ۴۴، ۶۹ و ۴۳ کمترین مشارکت نسبت به مساحت در دبی اوج حوضه را داشته‌اند. در دوره بازگشت ۵۰ سال زیرحوضه‌های ۵۳، ۶۶ و ۳۷ بیشترین مشارکت و زیرحوضه‌های ۲، ۴۳ و ۴۴ کمترین مشارکت نسبت به مساحت را در دبی کل خروجی حوضه را داشته‌اند (شکل ۴). اولویت بندی از نظر حجم سیلاب نتایج هماهنگ‌تری را نشان می‌دهد به گونه‌ای که اولویت‌های اول تا سوم در دوره بازگشت‌های مختلف به یکی از سه زیرحوضه ۵۳، ۶۶ و ۳۷ اختصاص دارد (شکل ۵). بر اساس نتایج بدست آمده از شکل (۴) زیرحوضه‌های با اولویت بیشتر در دوره بازگشت ۱۰ سال نسبت به دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ سال به خروجی حوضه نزدیک‌تر می‌باشند که این امر در نتیجه‌ی مقدار بارندگی کمتر در دوره بازگشت‌های کمتر می‌باشد. این موضوع نشان دهنده آن است که برای کاهش اثر دبی زیرحوضه‌ها در خروجی حوضه باید دوره بازگشت معقولی را برای اجرای عملیات آبخیزداری در نظر گرفت تا کاهش خطرات سیل با اطمینان بالاتری انجام گردد (معماریان و همکاران، ۱۳۹۷). با وجود اختلاف در ترتیب اولویت زیرحوضه‌ها، مقایسه نتایج شاخص‌ها برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال مختلف دلالت بر نبود تفاوت معنی‌دار دارد. همچنین زیرحوضه‌های بی‌خطر در همه دوره بازگشت‌ها کاملاً مشابه بوده و کمترین میزان تاثیر

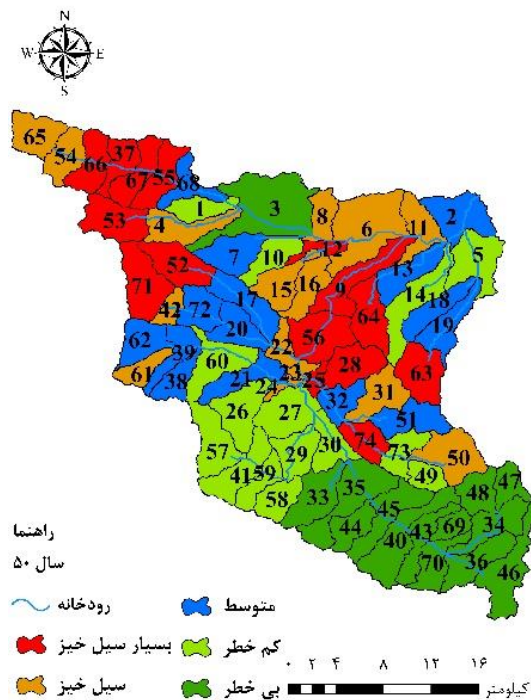
را در دبی خروجی دارند که می‌تواند به دلیل شیب نسبتاً کم، خاک با نفوذپذیری بالا و پوشش گیاهی خوب مراتع در این زیرحوضه‌ها باشد (تقفیان، فرازجو، ۱۳۸۶: عفیفی، ۱۳۹۹) همانطور که در شکل (۴) مشخص است زیرحوضه ۳ که بزرگترین حوضه از نظر وسعت بوده و در نزدیکی خروجی قرار دارد، بر اساس شاخص میزان مشارکت واحد سطح در دبی حوضه جزء زیرحوضه‌های بسیار کم خطر طبقه‌بندی شده است. در زیرحوضه‌های با سیل‌خیزی بسیار زیاد درصد تشابه زیرحوضه‌ها ۶۰ درصد می‌باشد اما زیر حوضه‌های غیر مشابه همگی در دو دسته بسیار سیل‌خیز و سیل‌خیز قرار گرفته‌اند. این زیرحوضه‌ها در مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف، خاک نفوذناپذیر و تغییر کاربری داده شده قرار گرفته‌اند. زیرحوضه‌های ۵۲، ۵۳ و ۷۱ که در بالادست حوضه قرار گرفته‌اند در همه دوره بازگشت‌ها در گروه بسیار سیل‌خیز قرار گرفته‌اند که از دلایل اصلی آن می‌توان به شیب بسیار زیاد، خاک بسیار نفوذناپذیر و پوشش گیاهی ضعیف این زیرحوضه‌ها اشاره کرد و این مهم نشان دهنده آن است که فاصله از خروجی تاثیر چندانی در میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی کل خروجی از حوضه ندارد. غریب و همکاران (۱۳۹۷) نیز در مطالعه‌ی خود به نتیجه‌ای مشابه رسیدند. مقایسه دبی و حجم سیلاب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که با وجود برخی اختلافات در اولویت بندی به وسیله این دو معیار، پراکنش مکانی درجات مختلف خطر تقریباً هماهنگ می‌باشد به گونه‌ای که زیرحوضه‌های بسیار سیل‌خیز در مرکز و شمال غربی حوضه قرار دارند، با این تفاوت که با معیار دبی اوج بیشتر این زیرحوضه‌ها در مرکز و با معیار حجم اکثراً در شمال غربی حوضه قرار گرفته‌اند. زیر حوضه‌های جنوبی در هر دو معیار در دسته زیر حوضه‌های کم خطر و بی‌خطر قرار دارند.

در شکل (۶) نیز نتایج اولویت بندی زیرحوضه‌ها با معیارهای ۶ گانه برای دوره بازگشت ۲۵ سال به عنوان دوره میانه ارایه شده است. همچنین در جدول (۵) نتایج رتبه بندی زیرحوضه‌های مختلف با استفاده از آزمون همبستگی اسپیرمن مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج هر چند بیانگر تفاوت و جابجایی زیرحوضه‌های با اولویت بالا در شاخص

خروجی اصلی حوضه مورد نظر باشد توجه به شاخص‌های مشارکت در دبی اوج و حجم کل اهمیت دارد. از نظر مشارکت در دبی سیل خروجی حوضه زیرحوضه‌های ۵۳، ۹ و ۵۶ اولویت بالاتری دارند و از نظر مشارکت در حجم سیلاب کل، زیرحوضه‌های ۶۶، ۵۳ و ۳۷ بالاترین سهم را دارند (جدول ۴). به منظور جمع‌بندی، نتایج شاخص‌های ۶ گانه ۱۵ زیرحوضه که اولویت بالاتری در هر شاخص داشتند مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که زیرحوضه‌های ۶۶، ۵۶، ۵۳، ۵۲، ۶۷، ۷۱ و ۹ بر اساس هر ۶ شاخص مورد بررسی در طبقه "بسیار سیل خیز" قرار گرفته‌اند. همچنین زیرحوضه‌های ۳۷، ۴، ۵۴، ۵۵ و ۶۵ در ۵ شاخص و زیرحوضه‌های ۶ و ۱۲ تنها در دو شاخص در طبقه "بسیار سیل خیز" قرار گرفته‌اند.

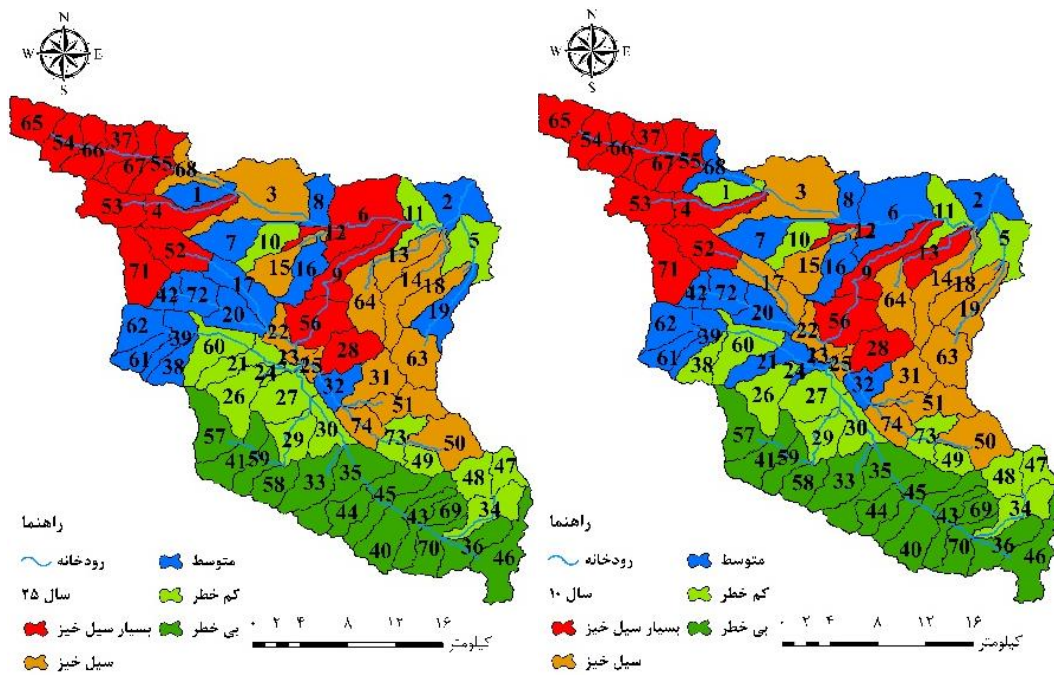
های مختلف است اما مقایسه آماری با توجه به تعداد زیرحوضه ( $N=74$ ) بیانگر عدم وجود اختلاف آماری بین رتبه‌بندیها با روش‌های مختلف است. زیرحوضه‌های ۷۴، ۵۳ و ۶ که در حوضه پراکنده‌اند بالاترین اولویت را از نظر دبی خروجی و حجم سیلاب خروجی در زیرحوضه داشته‌اند (شکل ۶ الف و ب). اما در شاخص دبی در واحد سطح و شاخص حجم در واحد سطح، زیرحوضه‌های ۶۶، ۵۳ و ۷۴ به ترتیب اولویت اول تا سوم را در دبی اوج و زیرحوضه‌های ۵۳، ۶۶ و ۳۷ بالاترین میزان مشارکت در حجم سیلاب زیرحوضه را داشته‌اند (شکل ۶ ج و د). این موضوع دلالت بر این دارد که به منظور کاهش دبی اوج سیلاب در خروجی زیرحوضه‌ها، حداکثر تاثیرگذاری با اجرای اقدامات کنترل سیلاب در زیرحوضه‌های ۶۶ و ۵۳ قابل حصول است. اما در مواقعی که کنترل سیلاب در

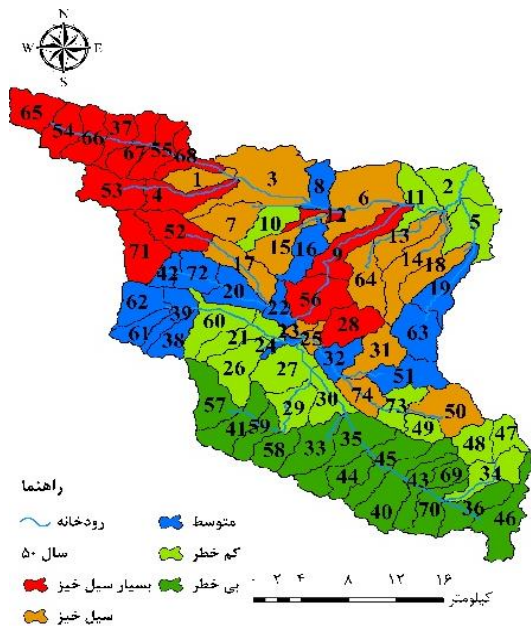




شکل ۴- نقشه سیل خیزی حوضه برای رگبارهای با دوره بازگشت‌های مختلف با شاخص مشارکت واحد سطح زیرحوضه در دبی اوج

سیلاب



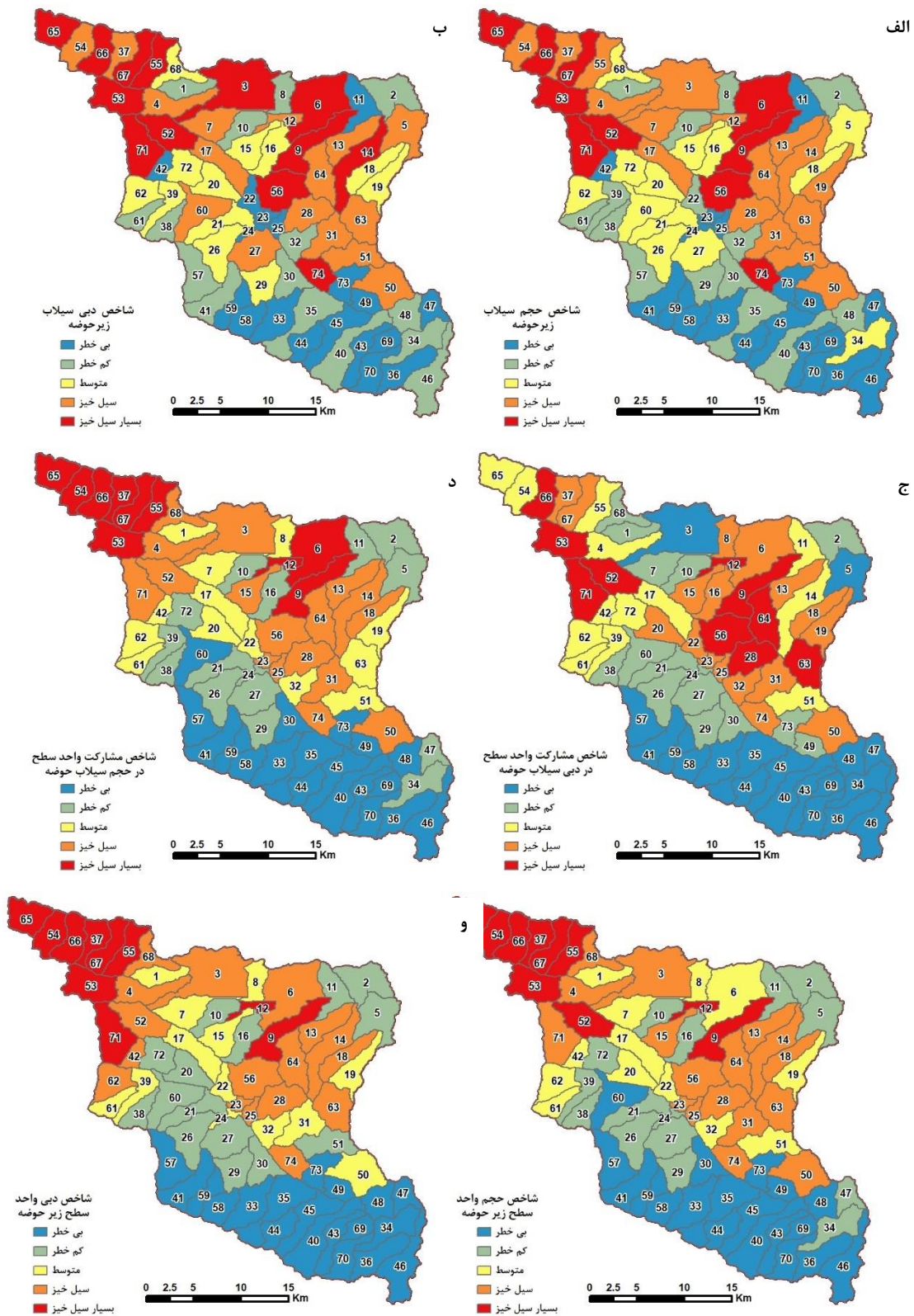


شکل ۵- نقشه سیل‌خیزی حوضه برای رگبارهای با دوره بازگشت‌های مختلف با معیار مشارکت واحد سطح زیرحوضه در حجم سیلاب

جدول ۴- اولویت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها بر اساس شاخص مشارکت واحد سطح زیرحوضه در دبی اوج حوضه در دوره بازگشت مختلف

حجم سیلاب			دبی اوج			اولویت
۵۰ سال	۲۵ سال	۱۰ سال	۵۰ سال	۲۵ سال	۱۰ سال	
۶۶۰	۶۶۰	۵۳۰	۵۳۰	۵۳۰	۹۰	۱
۵۳۰	۵۳۰	۶۶۰	۶۶۰	۹۰	۵۶۰	۲
۳۷۰	۳۷۰	۶۵۰	۳۷۰	۵۶۰	۲۸۰	۳
۶۷۰	۶۵۰	۳۷۰	۷۱۰	۶۶۰	۶۴۰	۴
۵۴۰	۶۷۰	۹۰	۹۰	۵۲۰	۶۳۰	۵
۶۵۰	۵۴۰	۵۴۰	۵۲۰	۷۱۰	۲۵۰	۶
۵۵۰	۹۰	۶۷۰	۶۷۰	۲۸۰	۵۳۰	۷
۹۰	۵۵۰	۱۲۰	۵۶۰	۶۳۰	۵۲۰	۸
۵۲۰	۱۲۰	۵۶۰	۲۸۰	۱۱۰	۷۱۰	۹
۱۲۰	۶۰	۵۲۰	۰۳	۶۴۰	۱۵۰	۱۰
۴۰	۵۲۰	۲۸۰	۰۵۵	۰۳۷	۰۱۱	۱۱
۷۱۰	۷۱۰	۵۵۰	۰۶۳	۰۳	۰۲۳	۱۲
۶۸۰	۴۰	۷۱۰	۰۶۴	۰۶	۰۱۹	۱۳
۵۶۰	۵۶۰	۱۳۰	۲۵۰	۱۵۰	۶۰	۱۴
۲۸۰	۲۸۰	۴۰	۰۱۱	۰۶۷	۰۳۱	۱۵





شکل ۶- نتایج مربوط به اولویت بندی حوضه بر اساس شاخص های مختلف

جدول ۵- ضریب همبستگی اسپیرمن برای شاخص‌های مختلف

حجم سیلاب در واحد سطح زیرحوضه	دبی در واحد سطح زیرحوضه	درصد کاهش حجم سیلاب حوضه در واحد سطح	درصد کاهش دبی حوضه در واحد سطح	حجم سیلاب زیرحوضه	دبی زیرحوضه	
					1.000	دبی زیرحوضه
				1.000	0.988	حجم سیلاب زیرحوضه
			1.000	0.690	0.654	درصد کاهش دبی حوضه در واحد سطح
		1.000	0.844	0.824	0.786	درصد کاهش حجم سیلاب حوضه در واحد سطح
	1.000	0.975	0.824	0.766	0.742	دبی در واحد سطح زیرحوضه
1.000	0.978	0.993	0.838	0.813	0.774	حجم سیلاب در واحد سطح زیرحوضه

### نتیجه‌گیری

خود تولید می‌کنند ممکن است اولویت‌های مختلفی را به خود اختصاص دهند. سیلخیزی زیرحوضه‌ها علاوه بر اینکه به مشخصات فیزیوگرافی، اداپیک و پوشش گیاهی حوضه وابسته است به ارتباطات هیدرولوژیکی حوضه و زمان تمرکز هر زیرحوضه نیز بستگی دارد. نتایج شاخص‌های ۶ گانه ۱۵ زیرحوضه که اولویت بالاتری در هر شاخص داشتند مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که زیرحوضه‌های ۶۶، ۵۶، ۵۳، ۵۲، ۶۷، ۷۱ و ۹ بر اساس هر ۶ شاخص مورد بررسی در طبقه "بسیار سیل خیز" قرار گرفته‌اند. از این رو نتایج مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی عملیات کنترل سیلاب در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. از آنجایی که روش‌های زیادی جهت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ سیل‌خیزی وجود دارد پیشنهاد می‌شود که اولویت‌بندی با سایر روش‌ها نیز انجام گیرد و نتیجه آن‌ها جهت معرفی بهترین مدل مقایسه شود. نتایج پژوهش حاضر مبتنی بر شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژی حوضه با مدل HEC-HMS است که نتایج آن به کیفیت داده‌ها، فرایند واسنجی و اعتبارسنجی مدل و روش‌های انتخابی بستگی دارد. از این رو بررسی و مقایسه مدل‌های هیدرولوژیکی دیگر با سایر روش‌های برآورد سیل‌خیزی در حوضه‌های با آمار و اطلاعات کامل تر توصیه می‌شود.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است و داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی و سازمان هواشناسی کل کشور دریافت

در این مطالعه، با مدل‌سازی هیدرولوژیکی در HEC-HMS و استفاده از روش ModClark، زیرحوضه‌های آبخیز سد درونگر با شش شاخص دبی سیلاب و حجم سیلاب در خروجی هر زیرحوضه، دبی سیلاب و حجم سیلاب در واحد سطح هر زیرحوضه و همچنین میزان مشارکت در دبی و حجم سیلاب در خروجی حوضه در واحد سطح استفاده شد. از نظر سیل‌خیزی اولویت‌بندی شدند بدین منظور با رگبارهای با دوره بازگشت‌ها ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال میزان سیل‌خیزی زیرحوضه‌های مختلف مشخص شد. نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد در دوره بازگشت‌های کوتاه اغلب زیرحوضه‌ها در سیل خروجی حوضه مشارکت کمی داشته‌اند، اما با افزایش دوره بازگشت رگبار اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها ثبات بیش تری پیدا می‌کنند. مطابق شاخص دبی و حجم سیلاب در خروجی حوضه در واحد سطح مشاهده شد که علاوه بر عوامل زمین‌شناسی و پوشش گیاهی، بین سیل‌خیز بودن زیرحوضه‌ها و شیب آن‌ها ارتباط مستقیم وجود دارد و در عمل موثرترین زیرحوضه در سیل‌خیزی حوضه، دارای بیشترین شیب متوسط می‌باشد اما این قاعده در مورد کم‌اثرترین زیرحوضه‌ها صادق نبوده و لزوماً کمترین شیب را ندارند. بر اساس نتایج حاصل چنین استنباط گردید که بزرگ‌ترین و نزدیک‌ترین زیرحوضه‌ها به خروجی و یا دورترین و کوچک‌ترین آن‌ها، لزوماً بیشترین و کمترین اثر را بر روی حداکثر دبی سیلاب در خروجی حوضه ندارد و زیرحوضه‌هایی که بالاترین و کمترین دبی را در خروجی

- Geomorphological Researches, 9(1), 134-155.
11. Gharib, M., B. Motamedvaziri and H. Ahmadi. 2018. Providing a method for determining the flood producing regions based on the relationship between flooding index and morphometric. *Journal of soil and water resources conservation*, 7(4), 87-102 (In Persian).
  12. Gharib, M., B. Motamedvaziri., B. Ghermezcheshmeh and H. Ahmadi. 2018. Evaluation of ModClark model for simulating rainfall-runoff in Tangrah Watershed, Iran. *Appl. Ecol. Environ. Res*, 16, 1053-1068.
  13. Ghavidelfar, S., S. R. Alvankar and A. Razmkhah. 2011. Comparison of the lumped and quasi-distributed Clark runoff models in simulating flood hydrographs on a semi-arid watershed. *Water resources management*, 25(6), 1775-1790.
  14. HEC. Hydrological Modelling System (HEC-HMS) user's Manual, Version 3.5. US Army Corps of Engineers, Hydrological Engineering Center, 2010.
  15. Hemmati, M., M. Shahnazi., H. Ahmadi and M. Salarjazi. 2017. Flood Peak Flow Simulation and Determination of Flood Source Area in the QARANQU Watershed Using Hydrological Mod-Clark Model and GIS. *Irrigation and Water Engineering*, 7(4), 65-80.
  16. Kazemi, R and J. Porhemmat, 2021. An Analysis of the factors Affecting Flooding Severity in Iran. *Watershed Management Research Journal*, 34(1), 59-73 (In Persian).
  17. Khosravi, K., B. T. Pham., K. Chapi., A. Shirzadi., H. Shahabi., I. Revhaug., I. Prakash, and D.T. Bui. 2018. A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 627, 744-755.
  18. Mahdavi, M. 2013. *Applied hydrology*. Volume II, University of Tehran Press, 192 pp. (In Persian).
  19. Malik, S., S. C. Pal., I. Chowdhuri., R. Chakraborty., P. Roy and B. Das. 2020. Prediction of highly flood prone areas by GIS based heuristic and statistical model in a monsoon dominated region of Bengal Basin. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, 100343.
  20. Mansouri, B and R. Pirmoradian. 2018. Evaluation and Comparison of Lumped and Semi-Distributed Rainfall-Runoff Models. *Journal of Water and Sustainable Development*, 5(2), 81-90 (In Persian).
- شده است که بدین وسیله از حمایت مادی و معنوی آن‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.
- ### منابع
1. Afifi, M. E. 2020. Simulation of rainfall-runoff and flood potential using model HEC-HMS and Fuzzy Logic Case Study of Rudbal Watershed in Fars Province. *Physical Geography Quarterly*, 12(46), 111-127 (In Persian).
  2. Alizade, A. 2008. *Principles of Applied Hydrology*. University of Tehran Press, 437 pp. (In Persian).
  3. Azari, M., S. Sadeghi and A. Telvari. 2008. Contribution Determination of Jaghargh Watershed in Peak Flood and Runoff Volume for Flood Control Prioritization. *Geography and Development Iranian Journal*, 6(12), 199-212 (In Persian).
  4. Azari, H., A. Motakan., A. Shakiba and S. Pourali. 2009. Simulation and flood warning with hydrology models in GIS and precipitation estimation through remote sensing. *Iranian Journal of Geology*, 3(9), 39-51 (In Persian).
  5. Barbosa, J. H. S., A. L. T. Fernandes and A. D. Lima. 2019. The influence of spatial discretization on HEC-HMS modelling: a case study. *International Journal of Hydrology*, 3(5), 442-449.
  6. Beven K.J. 2000. *Rainfall-Runoff modelling*. The Primer. Wiley. 360.
  7. Bhatt, G. D., K., Sinha, P. K., Deka, and A. Kumar. 2014. Flood hazard and risk assessment in Chamoli district, Uttarakhand using satellite remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(8): 9-18.
  8. Choudhari, K., B. Panigrahi, and J.C. Paul. 2014. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2014, 5, 253-265.
  9. Ewen, J and G. Parkin. 1996. Validation of Catchment's Models for Prediction Land Use and Climate Change Impacts. 1. Method, *Journal of Hydrology* (175) 583-564.
  10. Fathalizadeh, B., M. Abedini and M. Rajabi. 2020. Investigating the Causes and Hazards of flood in Zunuzchay Watershed Using HEC-HMS Hydrological Model and Fuzzy Logic. *Quantitative*

- flood response" method. *European Water*, (57), 43-48.
29. Saghafian B., B. Ghermezcheshmeh and M. M. Kheirkhah. 2010. Iso-flood severity mapping: a new tool for distributed flood source identification, *Natural Hazards*, 55: 557-570.
  30. Saghafian, B and H. Farazjou. 2007. Prioritization of hydrologic units with respect to flood potential in Golestan dam river basin. *Iranian journal of watershed management science and engineering*, 1(1), 1-11 (In Persian).
  31. Saghafian, B and M. Khosroshahi. 2005. Unit response approach for priority determination of flood source areas. *Journal of hydrologic engineering*, 10(4), 270-277.
  32. Samanta, S., D.K. Pal, and B. Palsamanta. 2018. Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied water science*. 8(2): p. 66.
  33. Sharif, F. 2002. Analysis of past flood events in Iran. *Second National Soil Erosion Seminar*, Lorestan, Iran. (In Persian).
  34. Talebi, A., Z. Eslami and A. Abbasi. 2019. Comparing prioritization from flooding of sub-basins using HEC-HMS model and experimental methods in Eskandari Watershed. *Watershed engineering and management*, 11(2), 336-343 (In Persian).
  35. USACE, 2000. HEC-HMS Technical Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 187p.
  36. Zhao, G., B. Pang., Z. Xu., D. Peng and L. Xu. 2019. Assessment of urban flood susceptibility using semi-supervised machine learning model. *Science of The Total Environment*, 659, 940-949.
  21. Memarian Khalilabad, H., M. Yousefi and A. Aghakhani Afshar, 2018. Identification of flooding source regions and investigating the impact of watershed management operations on the peak discharge (Case study: Bar watershed, Neyshabour, Iran). *Journal of water and soil conservation (journal of agricultural sciences and natural resources)*, 25(1), 35-59 (In Persian).
  22. Ministry of Interior, National Report on Floods, March 2019 (In Persian).
  23. Osei, B. K., I. Ahenkorah., A. Ewusi and E. B. Fiadonu. 2021. Assessment of flood prone zones in the Tarkwa mining area of Ghana using a GIS-based approach. *Environmental Challenges*, 3, 100028.
  24. Parisay, Z., & Sheikh, V., & Ownegh, M., & Bahremand, A. (2014). Flood hazard zonation by combining Mod-Clark and HEC-RAS models in Bustan dam basin, Golestan province. *Journal of water and soil (Agricultural sciences and technology)*, 28(4), 729-741 (In Persian).
  25. Peters, J. C. and D. J. Easton. 1996. Runoff Simulation Using Radar Rainfall Data. *Water Resources Bulletin*, 32(4), pp. 753-760.
  26. Pilgrim, D.H. and I. Cordery. 1975. Rainfall Temporal Patterns for Design Floods, *J. Hydr. Div. Am. Soc. Civ. Eng.* 101: 81-95.
  27. Rezaei, M., M. Vafakhah and B. Ghermezcheshmeh. 2016. Spatial variability of flood source areas using "Unit flood response" method in Khanmirza watershed. *Watershed engineering and management*, 8(2), 128-139 (In Persian).
  28. Rezaei, M., M. Vafakhah and B. Ghermezcheshmeh. 2017. Spatial variability of flood source areas using "unit