

واژه‌های کلیدی: تعدیل سیلاب، هیدروگراف سیلابی، کنترل سیل، اقدامات آبخیزداری، مدل‌های هیدرولوژیکی.

مقدمه

بلاایای طبیعی همواره تهدیدی برای جوامع بشری است. در این بین سیلاب‌ها یکی از بلاایای طبیعی است که زندگی میلیون‌ها نفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر به علت تغییرات اقلیمی و عوامل انسانی، ناهنجاری‌های بارش در جهان افزایش یافته است؛ که گاهاً هزینه‌های زیادی را به مردم تحمیل می‌کند [۱۳]. مطابق آمار تهیه‌شده توسط سازمان ملل در میان بلاایای طبیعی، سیل و طوفان بیش‌ترین تلفات و خسارات را به جوامع بشری وارد آورده‌اند. این امر در کشور ما نیز صادق است و در اغلب سال‌های گذشته حدود ۷۰ درصد اعتبارات سالانه طرح کاهش اثرات بلاایای طبیعی صرف جبران خسارات ناشی از سیل شده است [۲]. سیل یکی از پدیده‌های ویرانگر طبیعی است که شبیه‌سازی و پیش‌بینی آن از اهمیت بالایی برخوردار است. برآورد بارش - رواناب و سیل، به دلیل تأثیرگذاری عوامل مختلف دشوار است. تاکنون روش‌های مختلفی برای تحلیل این پدیده‌ها پیشنهاد شده است، یکی از این روش‌ها استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی مانند HEC-HMS است [۱۴]. سیل مانند سایر پدیده‌های هیدرولوژیکی، پدیده‌ای تصادفی است و در هر زمان و مکانی احتمال رویداد آن وجود دارد و معمولاً به همین دلیل تعیین زمان دقیق وقوع سیل امکان‌پذیر نیست، ولی پیش‌بینی بروز آن با توجه به وقایع هیدرولوژیکی مشاهده‌شده در گذشته، دور از دسترس نمی‌باشد. از معتبرترین مدل‌های هیدرولوژیکی جهت برآورد بارش-رواناب حوزه‌های آبخیز، مدل HEC-HMS است که برای برآورد حجم و دبی سیلاب‌ها کاربرد فراوانی دارد. مدل HEC-HMS یکی از مدل‌های هیدرولوژیکی است که کارایی بسیار بالایی در پروژه‌های هشدار سیل در جهان را به خود اختصاص داده است [۱۸]. پروژه‌های آبخیزداری در تعدیل و کنترل سیلاب، کاهش دبی اوج و حجم سیلاب، مهار فرسایش و رسوبات دارای اهمیت می‌باشد. به‌منظور توسعه مناطق روستایی و مدیریت منابع طبیعی، ارزیابی عملکرد پروژه‌های آبخیزداری به‌عنوان یک بخش مهم در اقدامات حفاظت خاک و آب مطرح است [۸]. کمی کردن تأثیر پروژه‌های آبخیزداری در سطح حوضه‌ها، اولین گام در ارزیابی اثربخشی این اقدامات می‌باشد. مسئله مهم در ارزیابی، انتخاب شاخص مناسب

ارزیابی تأثیر پروژه‌های آبخیزداری بر خصوصیات هیدروگراف‌های سیلابی (مطالعه موردی: سناریوهای برای حوزه آبخیز بالادست کلات)

بهنام حامدسپاسی^۱، محمدتقی دستورانی^{۲*}، محمود آذری^۳
 تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۱۲/۰۴
 DOI: 10.22034/WMI.2025.2038992.1084

چکیده

برای بررسی اثرات اقدامات آبخیزداری بر خصوصیات سیلاب، با شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در دوره‌های قبل و بعد از اقدامات آبخیزداری، می‌توان به نتایج کمی از این عملیات دست یافت. داده‌های بارندگی و دبی در برنامه Easy Fit با توزیع‌های آماری مورد برازش قرار گرفتند و دوره‌های بازگشت برای هر کدام به دست آمد. برای عملیات بیولوژیکی سه سناریو، برای اقدامات مکانیکی دو سناریو و برای عملیات تلفیقی ۲ سناریو (بیولوژیکی - مکانیکی) تعریف شد. با کمک برنامه‌های Arc GIS و HEC-HMS، ابعاد مخازن و سازه‌ها، هیدروگراف‌های سیلاب و روندیابی سیل در مخزن محاسبه گردید. نتایج سناریوهای بیولوژیکی، مکانیکی و تلفیقی در کاهش دبی اوج نسبت به دبی اوج اولیه به ترتیب برای دوره بازگشت‌های زیر ۱۰ سال - بالای ۱۰ سال به‌طور میانگین، به ترتیب ۱۸ - ۱۵ - ۵۶ - ۵۴ - ۶۲ - ۶۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد. در نتیجه، سناریوهای بیولوژیک با افزایش دوره بازگشت‌های تا ۱۰ سال بیش‌ترین کارایی را دارد و بعدازآن رو به کاهش است. سناریوهای مکانیکی با افزایش دوره بازگشت در کاهش دبی اوج روند ثابتی دارد و هم‌چنین کاهش حجم سیلاب در این سناریو بسیار اندک است. سناریوهای تلفیقی با افزایش دوره بازگشت در کاهش دبی اوج روند ثابتی دارد، ولی در مورد کاهش حجم سیلاب تا دوره بازگشت ۱۰ سال ثابت و بعد از ۱۰ سال کارایی آن نزولی می‌شود.

۱- دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد رشته علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲- استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
 *نویسنده مسئول: Email: dastorani@um.ac.ir

۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

برای ارزیابی است که بر پایه نوع پروژه، روش ارزیابی، دقت موردنیاز و داده‌های در دسترس تعیین می‌شود. اجرای عملیات آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز موجب مهار سیلاب و به تعویق انداختن سیل می‌شود؛ بنابراین، با مدل‌سازی حوضه و ارزیابی فعالیت‌های آبخیزداری می‌توان سناریوهای کاربری اراضی و یا عملیات مکانیکی در آینده را برای پیش‌بینی تغییرات ممکن در رژیم هیدرولوژیکی جریان آبراهه بررسی و سناریوی مناسب را انتخاب نمود [۱۷]. مدل‌های هیدرولوژیکی به‌طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیکی در سطح حوزه‌های آبخیز به کار می‌روند [۲۰].

آذری و همکاران [۵] در حوزه آبخیز جعفری در استان خراسان رضوی، عکس‌العمل‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز در ناحیه مسکونی که متأثر از اقدامات مختلف مهار سیلاب می‌باشد را با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS در حوضه‌ی مذکور ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با افزایش دوره بازگشت سیلاب سهم اقدامات آبخیزداری در کاهش دبی پیک و پهنه سیلاب کم می‌شود. اقدامات کنترل و مهار سیلاب حداکثر و حداقل تأثیر را به ترتیب بر دبی اوج و سطح سیل‌گیری داشته‌اند. در این نتیجه‌گیری میزان کارایی بالای شیوه‌های بیولوژیکی بر مهار سیلاب‌هایی با دوره بازگشت پایین و احتمال وقوع زیاد مورد تأکید است.

نورعلی و قهرمان [۱۷] در حوزه آبخیز گوش و بهره، تأثیر عملیات آبخیزداری شامل سازه‌ای و بیولوژیکی بر هیدروگراف سیل را با استفاده از مدل HEC-HMS ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش ایشان نشان می‌دهد که انجام عملیات بیولوژیکی و مکانیکی باعث کاهش مقدار دبی اوج سیلاب تا ۳۶/۲۱ درصد و کاهش حجم سیلاب تا ۳۴/۷۸ درصد در دوره بازگشت‌های مختلف می‌شوند. هم‌چنین با افزایش دوره بازگشت، تأثیر اقدامات آبخیزداری بر حجم سیلاب و دبی اوج کاهش پیدا می‌کند. نتیجه‌گیری کلی در این تحقیق ارزیابی مثبتی را با انجام این اقدامات در حوزه آبخیز دارد.

گومیندوگا و همکاران [۱۲] در حوزه آبخیز مانیام^۱ در کشور زیمبابوه، رواناب اندازه‌گیری نشده در بالادست حوضه را با استفاده از مدل HEC-HMS شبیه‌سازی کردند. دو زیر حوزه ماریمبا (Marimba) و ماکوویسی (Mukuvisi) را به‌عنوان زیر حوزه‌های دارای آمار و بر پایه کامل بودن داده‌ها برای شبیه‌سازی در نظر گرفتند. رواناب ۸ زیر حوضه‌ی فاقد آمار که دارای خصوصیات فیزیوگرافی مشابه با دو زیر حوضه نمونه می‌باشند بر اساس تبدیل ضرایب، شبیه‌سازی شدند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل HEC-HMS رواناب در یک حوضه پیچیده با زیر حوضه‌ها و آبراهه‌های متعدد را با موفقیت پیش‌بینی می‌کند. قطب‌الدین و همکاران [۱۰] اثر اقدامات آبخیزداری بر ویژگی‌های آبنمود سیل را با استفاده از مدل HEC-HMS موردبررسی قرار دادند. برای طراحی، واسنجی و

اعتبارسنجی مدل اطلاعات حوضه معرف و زوجی کاخک در استان خراسان رضوی تهیه و با بازدیدهای میدانی تکمیل گردید. ایشان در نتیجه‌گیری‌شان نشان دادند که اقدامات آبخیزداری توانسته است عکس‌العمل هیدرولوژیکی حوضه و خصوصیات آبنمود سیلاب از جمله ضریب سیلاب، دبی پیک و حجم سیلاب را به ترتیب با P_{value} برابر با ۰/۰۰۱، ۰/۰۲۷ و ۰/۰۲۶ به‌صورت معنی‌داری کاهش دهد، علاوه بر این عملیات بیولوژیکی نسبت به سازه‌ای، دبی پیک و حجم سیلاب را به ترتیب ۸/۸ و ۱۲/۶۴ درصد بیش‌تر تعدیل کرده است.

نیازی و همکاران [۱۶] در حوزه جازان^۲ در جنوب غربی عربستان، ارزیابی و مدل‌سازی رواناب و سیلاب ناگهانی در دوره بازگشت‌های مختلف بارندگی در مناطق خشک به‌وسیله ادغام مدل‌های حوزه آبخیز (WMS) و هیدرولوژیکی (HEC-HMS) با تکنیک‌های (GIS) نمودند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ذخیره اوج سد در شرایط خالی بودن کامل مخزن، شامل ۱۳۱۴۴ مترمکعب می‌باشد. مساحت متناظر با مخزن سد (دریاچه) در تمام سناریوها رنج ۹ تا ۱۱/۳ کیلومترمربع، به ترتیب برای دامنه‌ای از دوره بازگشت‌های ۵ تا ۱۰۰ سال می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش، ارزش استفاده از رویکرد مدل‌سازی یکپارچه در ارزیابی و کاهش خطرات سیل ناگهانی در محیط‌های خشک سراسر جهان را برجسته می‌کند. یوان و همکاران [۱۹] در حوزه آبخیز وانگماوگو^۳ واقع در فلات لسی کشور چین، اثرات سیستم سدهای اصلاحی بر رواناب تولیدی و فرآیندهای تمرکز حوزه آبخیز را در فلات لسی بررسی کردند. ایشان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی مبتنی بر توزیع فیزیکی، سناریوهایی با تعداد مختلفی از سدهای اصلاحی را شبیه‌سازی نمودند و اثرات آن‌ها بر تولید و تمرکز رواناب مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، وجود سدهای اصلاحی دبی حداکثر و حجم سیلاب را کاهش و مدت‌زمان سیلاب را افزایش می‌دهد و اثر کاهش بر دبی اوج در بین سه فاکتور مهم‌ترین بود. در ضمن سدهای اصلاحی ظرفیت تنظیم حوزه آبخیز، ذخیره سیلاب و میانگین زمان تمرکز در حوزه آبخیز که هیدروگراف واحد لحظه‌ای آن پهن شده است را افزایش می‌دهند.

گونزالز و همکاران [۱۱] در حوزه آبخیز گوادیانا^۴ در شهرستان باداجوز (Badajoz) اسپانیا با استفاده از روش‌شناسی سه مرحله‌ای، رویداد سیل در دسامبر ۱۸۷۶ را ارزیابی نمودند. ابتدا بارش ثبت‌شده رویداد سیل را برآورد کردند. دوم، هیدروگراف سیل به‌وسیله مدل HEC-HMS و تخمین داده‌های بارش به دست آمد. سوم، نقشه نواحی مرتبط با آمار سیلاب‌های ثبت‌شده با استفاده از مدل هیدرولیکی (Iber+) بازتولید شد. نتایج عددی دبی حداکثر، ناحیه سیل‌گیر و عمق جریان به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی رویداد سیل، همخوانی خوبی را با برخی از توصیفات تاریخی این رویداد

2- Jazan
3- Wangmaogou
4- Guadiana

1- Manyame

نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد این روش برای بازتولید وقایع سیلاب‌های شدید با داده‌ها و آمار نسبتاً کمیاب، توانایی خوبی دارد [۱۱].

ژائو و همکاران [۲۱] در حوزه آبخیز وانگمو^۱ در کشور چین اثرات بندهای اصلاحی (مخزن) را در کنترل سیلاب‌های شدید ارزیابی کردند. وسعت طغیان سیلاب‌های ناگهانی را برای حوزه وانگمو در چین، در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از دو مدل HEC-HMS و FLO-2D شبیه‌سازی نموده و نتایج خسارات محلی را با وجود مخزن و بدون مخزن مقایسه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که استفاده از عملیات بندهای اصلاحی و مخزن‌ها برای کنترل سیلاب باعث کاهش وسعت سیلاب‌های محلی در مرکز شهرستان تقریباً تا ۱۲/۹ - ۳۰/۲ درصد می‌شود که منجر به کاهش تلفات محلی از ۴۵/۷ - ۱۹/۷ درصد می‌شود. نتیجه‌گیری این تحقیق نشان می‌دهد که ساخت سدها و مخازن می‌تواند به کاهش خسارات در مناطق کوهستانی فقیر و مستعد بلایا کمک کند.

قضاوی و همکاران [۹] در حوزه آبخیز خاوه واقع در استان مرکزی، تأثیر سدهای اصلاحی بر روی دبی پیک و حجم سیلاب را مورد ارزیابی قرار دادند. بدین منظور با استفاده از مدل HEC-HMS هیدروگراف سیل حاصل از رگبارهای طراحی با دوره بازگشت‌های مختلف را در حالت‌های قبل و بعد از اجرای سازه‌های آبخیزداری با یکدیگر مقایسه کردند. ایشان به این نتیجه رسیدند که احداث سازه‌های اصلاحی باعث کاهش دبی اوج، افزایش زمان پایه هیدروگراف و افزایش زمان تا اوج هیدروگراف در دوره بازگشت‌های مختلف شده است به طوری که برای دوره بازگشت‌های ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ ساله دبی اوج به ترتیب از ۰/۶ به ۰/۳، ۰/۳ به ۰/۹، ۰/۳ به ۰/۷، ۰/۷ به ۰/۹، ۰/۹ به ۰/۷، ۰/۷ به ۰/۵، ۰/۵ به ۰/۴، ۰/۴ به ۰/۳ مترمکعب بر ثانیه کاهش یافته است.

در این تحقیق بررسی سناریوهای مختلف عملیات آبخیزداری شامل مکانیکی، بیولوژیکی و تلفیقی در حوضه‌ای که اقدامات آبخیزداری انجام نشده است، مدنظر می‌باشد. هم‌چنین میزان تأثیر هر کدام از عملیات‌های مذکور در دوره بازگشت‌های مختلف بارندگی بر خصوصیات سیلاب مورد بررسی قرار می‌گیرد. خصوصیات سیلاب مدنظر شامل دبی حداکثر، حجم جریان سیلاب و تأخیر در زمان وقوع دبی اوج می‌باشد. هم‌چنین مقایسه تفاوت در خصوصیات سیلاب در زمان بعد از اجرای سناریوها نسبت به وضعیت قبلی یا بدون سناریو مورد هدف می‌باشد. هدف کلی این تحقیق ارزیابی تأثیرات سناریوهای مختلف عملیات آبخیزداری بر خصوصیات سیلاب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شهری کلات با مساحتی در حدود ۱۶۶/۵ کیلومترمربع در حوزه آبخیز قره قوم و از نظر سیاسی در کشور ایران و در استان خراسان رضوی، محدوده شهرستان کلات واقع شده است. این حوضه به صورت یک حوزه آبخیز هیدرولوژیک بوده و تمامی رواناب آن از طریق رودخانه کلات عبور نموده و از کشور خارج می‌گردد. از جمله آبادی‌های موجود در حوضه می‌توان به شهر کلات، روستاهای سیرزار و قره‌سو اشاره کرد. مهم‌ترین راه ارتباطی حوضه نیز از طریق همین روستاهای مورد اشاره می‌باشد. از نظر مطالعات فیزیوگرافی و توپوگرافی، این حوضه دارای ارتفاع متوسطی در حدود ۱۱۹۵/۰۱ متر، ارتفاع حداقل ۹۵۹ و حداکثر ۲۷۰۱ متر می‌باشد. شیب متوسط در این حوضه حدود ۴۳/۶۲ درصد و جهت شیب غالب حوضه شمال شرقی می‌باشد. توپوگرافی شدید، شیب متوسط بالا و کوهستانی بودن از مهم‌ترین خصوصیات فیزیوگرافی حوضه می‌باشد.

حوزه آبخیز شهری کلات دارای سه تیپ فیزیوگرافی کوه‌ها، تپه‌ها و تراس‌های رودخانه‌ای و دو تیپ اراضی متفرقه بستر مسیل و مناطق مسکونی می‌باشد. در تیپ کوه‌ها و تپه‌ها عوامل محدودیت مهم رخنمون سنگی، شیب و پستی و بلندی زیاد، فقر پوشش گیاهی یا خاک و فرسایش آبی می‌باشد. گروه‌های C و B به ترتیب دارای بیش‌ترین مساحت در بین گروه‌های هیدرولوژیک خاک می‌باشند [۶]. جدول ۱ خصوصیات فیزیوگرافی حوضه مورد مطالعه و زیر حوضه‌های آن را نشان می‌دهد. در شکل (۱) نقشه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی، رتبه‌بندی شبکه زهکشی، مرز استان و شهرستان‌ها و مرز حوضه انتخابی کلات مشخص شده است.

روش تحقیق و داده‌های مورد استفاده

در ابتدا پارامترهای هیدرولوژیکی مورد نیاز برای اجرای مدل بارش رواناب HEC-HMS با استفاده از داده‌های هواشناسی مانند بارش و داده‌های دبی به ترتیب از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در بند کلات واقع در خروجی حوضه استخراج گردید (شکل ۱). از نقشه توپوگرافی با اختلاف ارتفاع ۲۰ متری در محیط GIS نقشه مدل رقومی ارتفاع با پیکسل سایز ۱۰ متری درون‌یابی شده و بدون (sink) تهیه گردید و هم‌چنین برای ورودی مدل HEC-HMS مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲). هم‌چنین از داده‌های توپوگرافی و DEM برای تولید نقشه شیب، جهت شیب، شبکه آبراهه و محاسبه حجم مخازن سازه‌های آبخیز در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی یا برنامه Arc GIS Pro استفاده گردید. از نقشه‌های کاربری اراضی، شماره منحنی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و تاج پوشش، اطلاعات فیزیوگرافی و زمین‌شناسی و دیگر گزارشات گردآوری شده از اداره کل منابع طبیعی استان، برای تهیه پارامترهای مورد نیاز مدل HEC-HMS استفاده گردید. هم‌چنین نقشه‌های شیب، جهت شیب، کاربری

جدول ۱: خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز کلات

مشخصات فیزیوگرافی حوضه								
نام زیر حوضه‌ها	وضعیت هیدرولوژیکی حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط حوضه (کیلومتر)	زمان تمرکز (دقیقه)	متوسط شیب حوضه (درصد) اصلی (کیلومتر)	طول آبراهه (کیلومتر)	ضریب فشرده‌گی	ضریب گردی کشیدگی
زیر حوضه ژرف-۱	هیدرولوژیکی	۲۳/۶۴	۲۸/۸۲	۷۱	۴۰/۳۹	۱۰/۱۷	۱/۶۷	۰/۳۶
زیر حوضه ژرف-۲	هیدرولوژیکی	۷/۲۲	۱۳/۷۷	۳۲	۴۸/۱۰	۴/۹	۱/۴۵	۰/۴۸
زیر حوضه ژرف-۳	هیدرولوژیکی	۱۳/۰۷	۱۷/۱۰	۴۳	۵۵/۲۷	۷/۲۳	۱/۳۳	۰/۵۶
زیر حوضه ژرف-۵	هیدرولوژیکی	۱۵/۷۴	۱۸/۰۹	۴۱	۴۳/۸۸	۷/۲۴	۱/۲۹	۰/۶
زیر حوضه-۱	هیدرولوژیکی	۶/۲۷	۱۱/۴	۳۱/۲	۲۴/۲۸۶	۲/۸	۱/۲۸	۰/۶۱
زیر حوضه-۴	هیدرولوژیکی	۲/۸۸	۸/۳۴	۲۲/۲	۳۷/۷۷	۳/۸۹	۱/۳۹	۰/۵۲
زیر حوضه-۶	هیدرولوژیکی	۴/۲	۱۰/۵۲	۲۴/۶	۴۰/۶۴	۴	۱/۴۵	۰/۴۸
زیر حوضه-۸	هیدرولوژیکی	۴/۴۱	۱۰/۱۱	۲۵/۸	۴۰/۷۱	۴/۳۳	۱/۳۶	۰/۵۴
زیر حوضه-۹	هیدرولوژیکی	۳/۸	۱۰/۶۱	۲۸/۸	۲۶/۴۶	۴/۶	۱/۵۴	۰/۴۲
زیر حوضه-۱۰	هیدرولوژیکی	۱۴/۳۴	۲۰/۱۳	۴۰/۸	۵۴/۶۷	۷/۷۴	۱/۵۰	۰/۴۴
زیر حوضه-۱۱	هیدرولوژیکی	۱۷/۷۶	۱۸/۸۸	۵۱	۳۱/۱۲	۸/۳۳	۱/۲۶	۰/۶۳
زیر حوضه ژرف-۴	غیر هیدرولوژیکی	۳۵/۷۳	۳۵/۵۸	۱۰۰	۴۹/۳۴	۱۴/۰۸	۱/۶۸	۰/۳۵
زیر حوضه-۲	غیر هیدرولوژیکی	۱/۹۷	۸/۵۵	۲۴	۲۴/۸۶	۱/۵۸	۱/۷۲	۰/۳۴
زیر حوضه-۳	غیر هیدرولوژیکی	۵/۸۸	۱۲/۳۹	۳۸/۴	۳۲/۷۷	۲/۸۵	۱/۴۳	۰/۴۹
زیر حوضه-۵	غیر هیدرولوژیکی	۳/۶۲	۱۱/۲۱	۲۲/۸	۳۵/۶۳	۱/۵	۱/۶۶	۰/۳۶
زیر حوضه-۷	غیر هیدرولوژیکی	۲/۸۰	۸/۷۶	۲۲/۸	۳۰/۷۱	۱/۴	۱/۴۸	۰/۴۶
زیر حوضه-۱۲	غیر هیدرولوژیکی	۱/۱۷	۵/۲۳	۱۸	۴۱/۹۹	۱/۲	۱/۳۶	۰/۵۴
زیر حوضه-۱۳	غیر هیدرولوژیکی	۰/۹۴	۴/۸۳	۲۵/۲	۴۱/۰۹	۱/۵۶	۱/۴۱	۰/۵۱
کل حوضه	هیدرولوژیکی	۱۶۶/۵	۷۲/۱۲	۴۳/۶۲	۴۳/۶۲	۳۲/۲۱	۱/۵۸	۰/۴۰

برحسب کیلومتر و H: اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای طولانی‌ترین مسیر جریان در حوضه برحسب متر می‌باشد [۳].

$$Tc = 0.949 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (1)$$

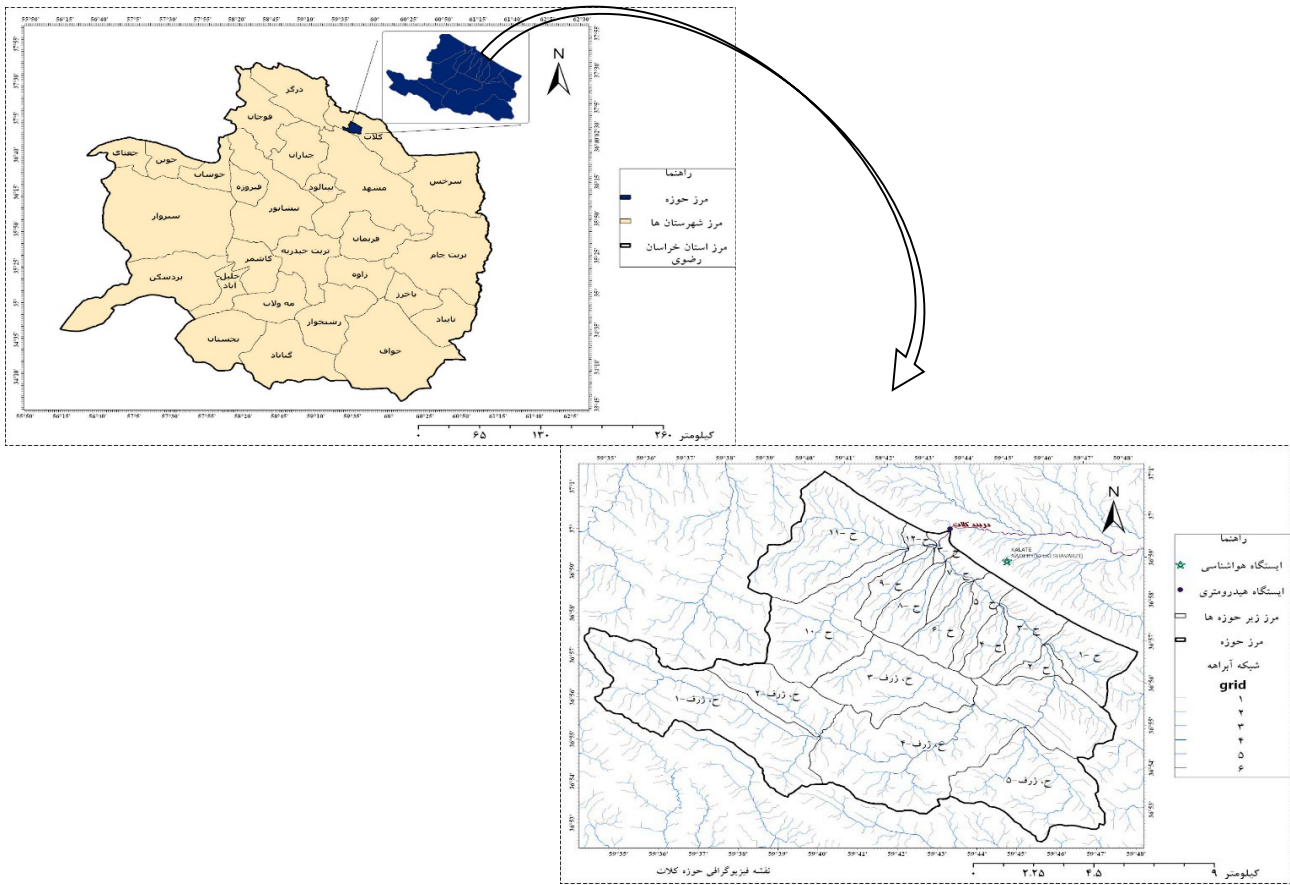
برای محاسبه زمان تأخیر مورد نیاز بخش تبدیل بارش به رواناب مدل از رابطه (۲) که روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) می‌باشد استفاده گردید [۱۵].

$$Tlag = 0.6 * Tc \quad (2)$$

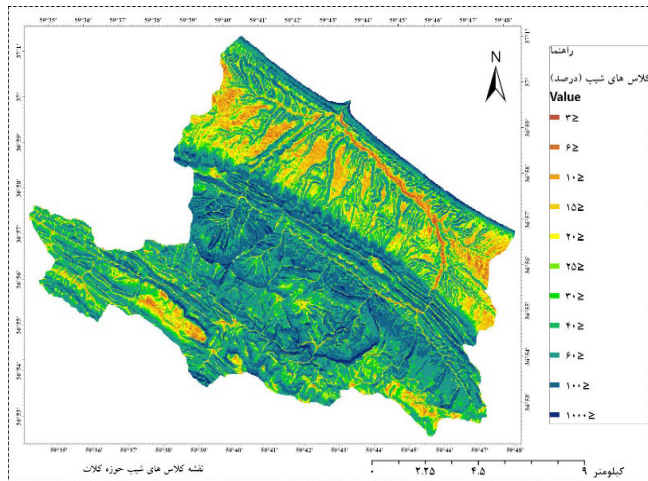
پارامتر دیگر بخش تبدیل بارش به رواناب درصد سطوح نفوذناپذیر حوضه می‌باشد که از نقشه کاربری در محیط Arc GIS Pro برای هر زیر حوضه به دست آمد. پارامتر شماره منحنی برای

اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک در شکل‌های ۳ تا ۶ آمده است. در رابطه با مدل حوضه در برنامه HEC-HMS برای بخش تلفات حوضه، از روش: SCS Curve Number و برای تبدیل بارش به رواناب از روش: SCS Unit Hydrograph و برای روندیابی در آبراهه از روش: Muskingum- Cunge و برای بخش هواشناسی مدل از روش: Specified Hyetograph و بارش با گام زمانی روزانه استفاده گردید.

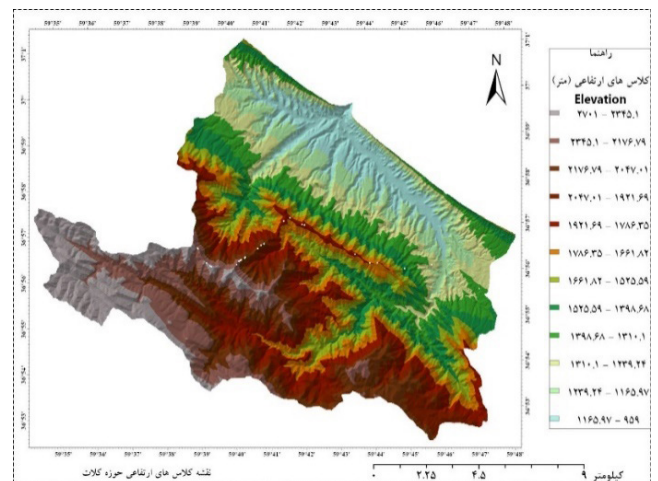
پارامترهای شماره منحنی، زمان تمرکز، زمان تأخیر و درصد سطوح نفوذناپذیر پارامتر زمان تمرکز از رابطه (۱) به دست آمد که L: طول آبراهه



شکل ۱: نقشه مرز حوضه مورد مطالعه در شهرستان کلات و استان به همراه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی



شکل ۳: نقشه شیب حوضه آبخیز کلات



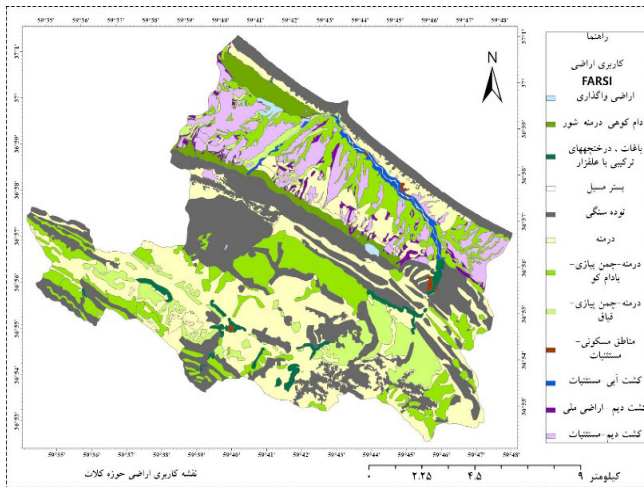
شکل ۲: نقشه کلاس‌های ارتفاعی حوضه آبخیز کلات

منحنی، زمان تمرکز و گیرش اولیه استفاده شد و برای فرآیند واسنجی یا کالیبراسیون مدل، استفاده از پارامترهای مشخص شده در مرحله آنالیز حساسیت مورد توجه قرار گرفت. دلیل استفاده از پارامترهای مذکور برای فرآیند آنالیز شامل موارد ذیل است، با توجه به اینکه مدل استفاده شده یک مدل بارش-رواناب است لذا عوامل اصلی تأثیرگذار در آن عبارت‌اند از موضوع میزان نفوذ که تأثیر زیادی در

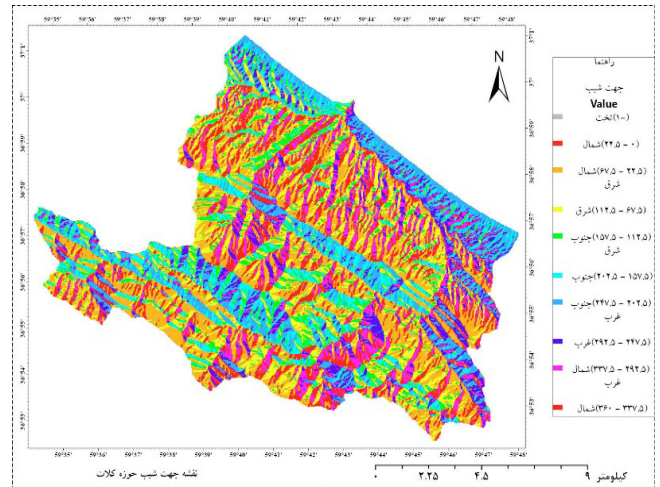
هر زیر حوضه از میانگین وزنی شماره منحنی در نواحی مختلف زیر حوضه با استفاده از نقشه شماره منحنی (CN) در محیط GIS به دست آمد.

آنالیز حساسیت و توزیعات آماری

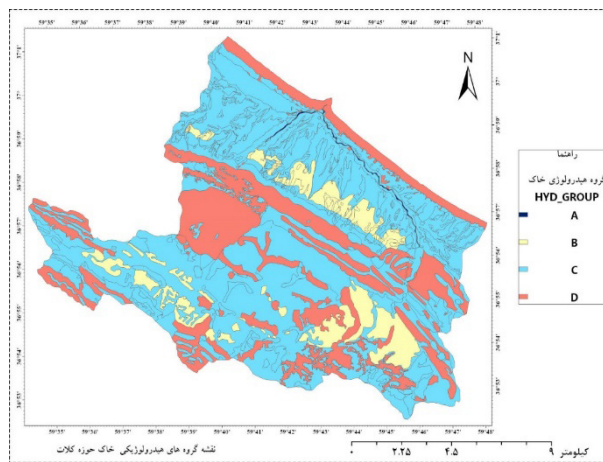
در آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترها از سه پارامتر شماره



شکل ۵: نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز کلات



شکل ۴: نقشه جهت شیب حوزه آبخیز کلات



شکل ۶: نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک حوزه آبخیز کلات

مدل وارد شده و شبیه‌سازی اجرا شد. برای بررسی کارایی مدل و نزدیک شدن نتایج خروجی مدل به آمار هیدرولوژیکی حوضه، اقدام به واسنجی مدل گردید [۲۰]. در فرآیند واسنجی و صحت سنجی مدل از داده‌های دبی ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری دربند استفاده گردید [۵].

سناریوهای عملیات آبخیزداری

برای بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری اقدام به تعریف سناریوهای عملیات بیولوژیکی و مکانیکی شد. برای بررسی اقدامات بیولوژیکی، ۳ سناریوی بیولوژیکی با عناوین سناریوهای بیولوژیکی ۱، ۲ و ۳ تعریف گردید. در اجرا مدل HEC-HMS برای سناریوهای بیولوژیکی از پارامتر شماره منحنی استفاده شد. در رابطه با تعریف سناریوهای بیولوژیکی، میزان درصد تاج پوشش در نواحی مرتعی برای هرکدام از زیر حوضه‌ها بر اساس سناریوهای بیولوژیکی شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب حدوداً ۵۵، ۶۵ و ۸۰ درصد تعریف شد. سپس میانگین وزنی تاج پوشش در هر زیر حوضه بر اساس درصد تاج پوشش‌های مربوط به نواحی مختلف کاربری اراضی (مرتعی، باغات، توده سنگی، مسکونی و کشاورزی و غیره) برای سناریوهای بیولوژیکی به دست آمد. سپس در محیط GIS بر اساس گروه‌های

تولید رواناب دارد و نیز در بحث نفوذپذیری شماره منحنی (CN) مهم‌ترین عامل است، در بحث تبدیل بارش به رواناب پارامتر زمان عامل مهم دیگر است که در این خصوص زمان تأخیر یا زمان تمرکز مدنظر قرار می‌گیرد. علاوه بر این دو مورد شرایط توپوگرافی منطقه و وجود گودی‌های سطح زمین که بخشی از آب باران را در خود نگه می‌دارد عامل مؤثر بر روی رواناب است، در این خصوص پارامتر گیرش اولیه عمدتاً مدنظر است. بررسی منابع نیز دلالت بر استفاده از این سه پارامتر در آنالیز حساسیت مدل‌های بارش - رواناب دارد. برای تعیین دوره بازگشت داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای و بارندگی روزانه (۲۴ ساعته)، توزیع‌های آماری مورد برازش قرار گرفت و توزیع مناسب انتخاب شد و برای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال، داده‌های موردنظر به دست آمد [۱۵]. برای آزمون برازش توزیع‌های مختلف آماری با داده‌ها و تعیین مقادیر مربوط به دوره بازگشت‌های مختلف دبی حداکثر لحظه‌ای و بارندگی از نرم‌افزار آماری Easy Fit استفاده شد [۴].

اجرای مدل، واسنجی و اعتبارسنجی:

داده‌های بارندگی روزانه و پارامترهای ذکر شده برای شبیه‌سازی به

هیدرولوژیکی خاک، نواحی مختلف کاربری اراضی و درصد تاج پوشش، میانگین وزنی شماره منحنی‌های جدید در هر زیر حوضه برای سه سناریوی بیولوژیکی به دست آمد. در مدل HEC-HMS بارندگی با دوره بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی شده و دبی‌های اوج جدید مربوط به ۳ سناریوی بیولوژیکی با دبی اوج مربوط به شماره منحنی حالت اولیه مقایسه گردید [۷].

برای عملیات مکانیکی، بندهای اصلاحی آبخیزداری با ارتفاع ۳ متر در دو سناریو به تعداد ۳۸ و ۲۶ عددی در نظر گرفته شد. در سناریوهای مکانیکی با فرض پر شدن مخزن بالادست هر بند از رسوبات، شیب جدید آبراهه در طول مخازن با تقلیل شیب اولیه به ۰.۳ به دست آمد [۱]. با شیب جدید زمان تمرکز جدید و زمان تأخیر جدید برای دو سناریوی مکانیکی به دست آمد. همچنین دو سناریوی تلفیقی شامل عملیات ترکیبی بیولوژیکی و مکانیکی در نظر گرفته شد. در سناریوهای تلفیقی با فرض مؤثر بودن عملیات بیولوژیکی بر فرسایش و رسوبات، مخازن بالادست بندها خالی در نظر گرفته شد. برای شبیه‌سازی سیلاب در سناریوهای مکانیکی با استفاده از مدل HEC-HMS، بخش روندیابی مخزن در مدل مذکور مدنظر قرار گرفت [۱۷]. برای روندیابی مخزن در مدل HEC-HMS نیاز به داده‌های جفتی می‌باشد که با توجه به محدودیت‌هایی در داده‌های موردنیاز از محل هر مخزن مانند میزان دبی و ترازهای سطح آب در دریاچه‌ی بالادست هر بند اصلاحی، در نهایت روش داده‌های جفتی (ارتفاع - مساحت) برای بخش روندیابی مخزن انتخاب شد. در محیط GIS با استفاده از نقشه‌ی سلولی (رستری) مدل رقومی ارتفاع و جهت شیب، با توجه به هر کد تراز یک پلی گون یا پهنه از سلول‌های هم‌ارتفاع با توجه به جهت شیب هر سلول به دست آمد. همچنین در هر مخزن، پلیگون‌ها یا پهنه‌ها با اختلاف ارتفاع یک متری در نظر گرفته شد. سپس مساحت پهنه‌های دارای کد ارتفاعی

در هر مخزن با استفاده از برنامه Arc GIS Pro محاسبه گردید. در دو سناریوی تلفیقی، سناریوی تلفیقی (۱) شامل سناریوی مکانیکی با وضعیت حداقل و سناریوی بیولوژیکی با وضعیت متوسط می‌باشد و سناریوی تلفیقی (۲) شامل سناریوی مکانیکی با وضعیت حداکثر و سناریوی بیولوژیکی با وضعیت متوسط می‌باشد. مدل با سناریوهای مذکور تنظیم و با دوره بازگشت‌های مختلف بارندگی اجرا شد. دبی‌های اوج هر سناریو که توسط مدل محاسبه شده است با دبی اوج وضعیت اولیه (بدون سناریو) مقایسه می‌شود.

نتایج

نتایج برازش توزیع‌های آماری برای داده‌های بارندگی و دبی اوج و رتبه هرکدام از توزیع‌های منتخب برای سه آزمون: کولموگرو اسمیرنوو، اندرسون دارلینگ^۲ و کای اسکور^۳ که با استفاده از برنامه Easy Fit برازش داده شدند، حاصل شد. نتایج آزمون برازش توزیع‌های آماری مرتبط با داده‌های بارندگی در جدول (۲) و نتایج آزمون برازش توزیع‌های آماری مرتبط با داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در جدول (۳) آورده شده است. بر اساس مجموع رتبه هرکدام از توزیع‌های آماری برای سه آزمون مذکور، توزیع آماری که بهترین رتبه را کسب نموده است انتخاب می‌شود؛ در نتیجه مطابق با جداول ۲ و ۳ به ترتیب برای داده‌های بارندگی توزیع Weibull و برای داده دبی اوج توزیع Log-Pearson 3 انتخاب شدند. نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای مورداستفاده در مدل در بخش تبدیل بارش به رواناب شامل زمان تمرکز (Tc) و بخش تلفات حوضه شامل شماره منحنی (CN) و گیرش اولیه (IA) می‌باشد و برای واقعه‌ی بارندگی منتخب در جدول (۴) و شکل (۷) ارائه شده است. لازم به ذکر است که از واقعه بارندگی سال ۲۰۲۱ میلادی برای این کار استفاده شد و هر پارامتر به‌تنهایی با افزایش و کاهش به ترتیب بین ۳۰ تا ۳۰- درصد به مدل داده شد و حساسیت مدل در تغییرات

جدول ۲: نتایج برازش توزیع‌های آماری در داده‌های بارندگی

جدول آماری توزیع مناسب برای داده‌های بارندگی روزانه (حوزه آبخیز کلات)						
توزیع‌های آماری	کولموگرو اسمیرنوو		اندرسون دارلینگ		کای اسکور	
	رتبه	مقدار آماری	رتبه	مقدار آماری	رتبه	مجموع رتبه
Weibull	۱	۰/۰۲۴۶۳	۲	۰/۲۷۳۶۲	۱	۱/۴۹۱۶
Pearson 6	۲	۰/۰۳۰۰۳	۱	۰/۲۲۰۹۳	۳	۱/۹۲۶۶
Weibull (3P)	۳	۰/۰۳۶۰۵	۵	۰/۴۲۳۱۷	۲	۱/۸۸۸۴
Gamma (3P)	۴	۰/۰۳۸۶۲	۴	۰/۴۱۸۶۱	۴	۲/۱۸۸۶
Log-Pearson 3	۷	۰/۰۳۹۸۵	۳	۰/۳۹۷۴۶	۶	۳/۰۸۳۱
Gen. Gamma	۶	۰/۰۳۹۶۵	۶	۰/۵۲۸۰۱	۵	۳/۰۴۰۹
Pearson 6 (4P)	۵	۰/۰۳۸۸۵	۱۲	۴/۴۲۲۸	-	-
Gen. Gamma (4P)	۸	۰/۰۴۱۲۸	۷	۰/۵۷۷۵۱	۷	۳/۴۹۸۲
Gamma	۹	۰/۰۴۹۹۶	۹	۰/۹۳۶۸۵	۸	۴/۱۸۰۷
Lognormal (3P)	۱۰	۰/۰۵۱۱۴	۸	۰/۸۸۷۲۱	۹	۴/۷۴۱۹

1- Kolmogorov Smirnov

2- Anderson Darling

3- Chi-Squared

۳۱	۱۰	۵/۲۰۱۲	۱۰	۱/۰۳۲۶	۱۱	۰/۰۵۷۵۷	Frechet (3P)
۳۴	-	-	۲۰	۸۰/۶۳۹	۱۴	۰/۱۱۲۹۸	Johnson SB
۳۴	۱۱	۱۱/۲۰۷	۱۱	۲/۰۹۳۸	۱۲	۰/۰۷۲۶۶	Lognormal
۳۹	۱۳	۲۹/۱۱۴	۱۳	۵/۱۸۶۳	۱۳	۰/۱۰۸۱	Beta
۴۳	۱۲	۱۶/۱۵۶	۱۴	۶/۶۵۶۷	۱۷	۰/۱۷۴۹	Gumbel Max
۴۶	۱۵	۳۷/۳۷	۱۵	۹/۴۶۲	۱۶	۰/۱۴۳۶۲	Frechet
۵۰	۱۴	۳۰/۵۸۵	۱۷	۱۲/۷۳	۱۹	۰/۱۸۸۴۸	Normal
۵۰	۱۶	۳۹/۶۰۱	۱۹	۳۵/۴۹۸	۱۵	۰/۱۴۲۶۳	Pearson 5 (3P)
۵۲	۱۸	۵۹/۹۱۹	۱۶	۱۱/۴۹	۱۸	۰/۱۷۹۷۴	Pearson 5
۵۵	۱۷	۴۶/۸۵۷	۱۸	۳۲/۷۳۱	۲۰	۰/۲۲۴۵۲	Gumbel Min
۶۱	۱۹	۲۲۵۷/۴	۲۱	۵۵۳/۰۴	۲۱	۰/۷۶۳۲۵	Student's t

جدول ۳: نتایج برازش توزیع‌های آماری در داده‌های دبی

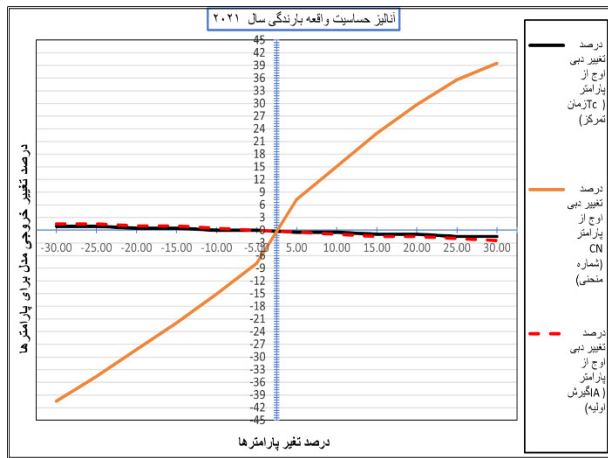
جدول توزیعات آماری برای دبی حداکثر - ایستگاه دربند کلات

توزیع‌های آماری	کولموگرو اسمیرنوو		اندرسون دارلینگ		کای اسکور		توزیع‌های آماری
	رتبه	مقدار آماری	رتبه	مقدار آماری	رتبه	مجموع رتبه	
Log-Pearson 3	۱	۰/۱۰۶۶۳	۱	۰/۳۲۲۳۷	۳	۵	Log-Pearson 3
Lognormal (3P)	۵	۰/۱۲۲۸۴	۲	۰/۳۴۴۶۱	۲	۹	Lognormal (3P)
Lognormal	۴	۰/۱۱۴۹۴	۳	۰/۳۵۶۶۴	۴	۱۱	Lognormal
Weibull	۲	۰/۱۰۹۷۵	۵	۰/۴۵۴۱۸	۵	۱۲	Weibull
Weibull (3P)	۳	۰/۱۰۹۸۲	۱۲	۳/۹۸۲	-	۱۵	Weibull (3P)
Pearson 5	۸	۰/۱۴۹۷۹	۷	۰/۶۰۲۵۹	۱	۱۶	Pearson 5
Pearson 6	۶	۰/۱۳۹۶۳	۴	۰/۴۳۸۸۸	۶	۱۶	Pearson 6
Pearson 5 (3P)	۷	۰/۱۴۱۹۷	۶	۰/۴۷۳۰۱	۷	۲۰	Pearson 5 (3P)
Pearson 6 (4P)	۱۱	۰/۱۹۸۸	۱۴	۵/۳۰۸۵	-	۲۵	Pearson 6 (4P)
Beta	۹	۰/۱۷۲۸۴	۱۰	۱/۸۸۹۸	۸	۲۷	Beta
Gumbel Max	۱۰	۰/۱۹۴۶۸	۸	۱/۱۳۷	۱۰	۲۸	Gumbel Max
Normal	۱۲	۰/۲۳۰۳۴	۹	۱/۸۳۲۸	۹	۳۰	Normal
Student's t	۱۵	۰/۹۶۸۴۵	۱۵	۱۴۵/۲۳	-	۳۰	Student's t
Phased Bi-Weibull	۱۳	۰/۲۶۲۱	۱۱	۳/۸۷۲۳	۱۲	۳۶	Phased Bi-Weibull
Gumbel Min	۱۴	۰/۲۸۲۸۲	۱۳	۴/۰۳۹۸	۱۱	۳۸	Gumbel Min

جدول ۴: آنالیز حساسیت مربوط به بارندگی سال ۲۰۲۱

درصد تغییرات	درصد تغییر دبی اوج نسبت به پارامتر Tc	درصد تغییر دبی اوج نسبت به پارامتر (Tc) زمان تمرکز	درصد تغییر پارامتر CN	درصد تغییر دبی اوج نسبت به پارامتر (CN) شماره منحنی	درصد تغییر پارامتر IA	درصد تغییر دبی اوج نسبت به پارامتر IA
-۳۰	۰/۹۷	-۳۰	-۳۰	-۴۰/۴۸	-۳۰	۱/۴۶۳
-۲۵	۰/۹۷	-۲۵	-۲۵	-۳۴/۶۳	-۲۵	۱/۴۶۳
-۲۰	۰/۴۸	-۲۰	-۲۰	-۲۸/۲۹	-۲۰	۰/۹۷۵
-۱۵	۰/۴۸	-۱۵	-۱۵	-۲۱/۹۵	-۱۵	۰/۹۷۵
-۱۰	۰	-۱۰	-۱۰	-۱۵/۱۲	-۱۰	۰/۴۸۷
-۵	۰	-۵	-۵	-۷/۸	-۵	۰
۵	-۰/۴۸	۵	۵	۷/۳۱	۵	-۰/۴۸
۱۰	-۰/۴۸	۱۰	۱۰	۱۵/۱۲	۱۰	-۰/۹۷۵
۱۵	-۰/۹۷	۱۵	۱۵	۲۲/۹۲	۱۵	-۱/۴۶
۲۰	-۰/۹۷	۲۰	۲۰	۲۹/۷۵	۲۰	-۱/۴۶
۲۵	-۱/۴۶	۲۵	۲۵	۳۵/۶	۲۵	-۱/۹۵
۳۰	-۱/۴۶	۳۰	۳۰	۳۹/۵۱	۳۰	-۲/۴۳

سیلاب و نتایج آماری مدل HEC-HMS برای فرآیند واسنجی در جدول (۶) و برای اعتبارسنجی در جدول (۷) آمده است.



شکل ۷: آنالیز حساسیت مربوط به سال ۲۰۲۱

مطابق نتایج واسنجی مدل HEC-HMS در جدول ۶، بر اساس ضریب همبستگی (R^2): همبستگی بین داده‌های دبی مشاهداتی و پیش‌بینی شده، شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE):

دبی حداکثر نسبت به هر پارامتر مشخص شد. طبق نتایج آنالیز حساسیت در رابطه با واقعه بارندگی سال ۲۰۲۱، مدل به ترتیب بیش‌ترین تا کم‌ترین حساسیت را نسبت به پارامتر شماره منحنی، گیرش اولیه و زمان تمرکز دارد.

در فرآیند واسنجی مدل، بر اساس نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل از دو پارامتر شماره منحنی و زمان تمرکز استفاده شد. ۴ واقعه بارندگی برای فرآیند واسنجی و ۳ واقعه برای فرآیند اعتبارسنجی مدل انتخاب شد [۲۰]. در جدول (۵) زمان تمرکز و شماره منحنی‌های جدید مرتبط با واسنجی مدل آمده است. مطابق جدول (۵) شماره منحنی‌ها پس از واسنجی مدل با کاهش مواجهه است و به‌طور میانگین درصد تغییرات شماره منحنی‌های مرتبط با واسنجی مدل نسبت به شماره منحنی‌های اولیه حدود (۲-) درصد می‌باشد. هم‌چنین تغییرات زمان‌های تمرکز مرتبط با مرحله واسنجی در جدول (۵) آمده است. درصد تغییرات زمان‌های تمرکز مرتبط با مرحله واسنجی نسبت به زمان‌های تمرکز اولیه (محاسبه‌شده) زیر حوزه‌ها به‌طور میانگین حدود ۳۲ درصد می‌باشد. هم‌چنین بر اساس نتایج آنالیز حساسیت و مرحله واسنجی تغییرات در پارامتر شماره منحنی بیش‌ترین تأثیر را بر خروجی مدل دارد. وقایع بارندگی،

جدول ۵: شماره منحنی و زمان تمرکز زیر حوزه‌ها

زیر حوزه‌ها	شماره منحنی اولیه	شماره منحنی کالیبره شده	زمان تمرکز اولیه (دقیقه)	زمان تمرکز کالیبره شده (دقیقه)	زیر حوزه‌ها	شماره منحنی اولیه	شماره منحنی کالیبره شده	زمان تمرکز اولیه (دقیقه)	زمان تمرکز کالیبره شده (دقیقه)
زیر حوزه ژرف-۱	۸۴/۷	۸۳	۷۱	۸۱	زیر حوزه-۵	۸۲/۳	۸۰/۶	۲۲/۸	۳۲/۸
زیر حوزه ژرف-۲	۸۵	۸۳/۳	۳۲	۴۲	زیر حوزه-۶	۸۴/۷	۸۳	۲۴/۶	۳۴/۶
زیر حوزه ژرف-۳	۸۷	۸۵/۳	۴۳	۵۳	زیر حوزه-۷	۸۴/۵	۸۲/۸	۲۲/۸	۳۲/۸
زیر حوزه ژرف-۴	۸۵	۸۳/۳	۱۰۰	۱۱۰	زیر حوزه-۸	۸۴/۳	۸۲/۶	۲۵/۸	۳۵/۸
زیر حوزه ژرف-۵	۸۴	۸۲/۳	۴۱	۵۱	زیر حوزه-۹	۸۵/۷	۸۴	۲۸/۸	۳۸/۸
زیر حوزه-۱	۸۵/۴	۸۳/۷	۳۱/۲	۴۱/۲	زیر حوزه-۱۰	۸۸/۷	۸۷	۴۰/۸	۵۰/۸
زیر حوزه-۲	۸۰	۸۷/۳	۲۴	۳۴	زیر حوزه-۱۱	۸۶/۵	۸۴/۸	۵۱	۶۱
زیر حوزه-۳	۸۳	۸۱/۳	۳۸/۵	۴۸/۵	زیر حوزه-۱۲	۸۴/۹	۸۳/۲	۱۸	۲۸
زیر حوزه-۴	۸۲/۲	۸۰/۵	۲۲/۲	۳۲/۲	زیر حوزه-۱۳	۸۵/۳	۸۳/۶	۲۵/۲	۳۵/۲

جدول ۶: وقایع بارندگی و نتایج آماری مرحله واسنجی

تاریخ واقعه بارشی	میزان بارندگی (میلی متر)	دبی مشاهداتی (m^3/s)	دبی محاسباتی (m^3/s)	R^2	RMSE	Nash Sutcliffe
۱۳۸۶/۰۱/۰۷	۳۳	۳۱	۳۲/۱	۰/۹۷	۰/۱	۰/۹۶
۱۳۸۱/۰۲/۱۵	۱۹	۲۱	۲۱/۳	۰/۹۵	۰/۲	۰/۹۳
۱۳۹۷/۰۲/۲۸	۶۶	۸۵/۳	۸۴/۷	۰/۹۲	۰/۳	۰/۸۷
۱۴۰۰/۰۲/۱۸	۲۱	۲۴	۲۵/۲	۰/۹۳	۰/۴	۰/۸۶

تفاوت بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده‌ی دبی و شاخص نش ساتکلیف (Nash Sutcliffe): همبستگی بین داده‌های دبی مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده مرتبط با هرکدام از وقایع بارندگی، نشان‌دهنده این است که مدل در پیش‌بینی مقادیر دبی دقت قابل قبولی را دارد. هم‌چنین در رابطه با فرآیند اعتبارسنجی مدل HEC-HMS مطابق با جدول ۷، بر اساس شاخص‌های آماری مذکور، نتایج نشان می‌دهد که مدل در پیش‌بینی مقادیر دبی دقت قابل قبولی را دارد. در رابطه با سناریوهای مکانیکی، نتایج حاصل از تأثیرات دو سناریوی عملیات مکانیکی بر تغییرات زمان تمرکز زیر حوزه‌ها در جدول ۸ آمده است. مطابق با جدول ۸، ستون بدون سناریو شامل زمان‌های تمرکز مربوط به مرحله‌ی واسنجی مدل می‌باشد، هم‌چنین

در ستون‌های سناریوی اول و دوم مکانیکی تنها شاهد افزایش در زمان تمرکز مربوط به زیر حوزه‌هایی که اقدامات مکانیکی در آن‌ها تعریف شده، می‌باشد.

در رابطه با سناریوهای بیولوژیکی، شماره منحنی اولیه زیر حوزه‌ها، شماره منحنی زیر حوزه‌ها بعد از واسنجی مدل HEC-HMS و میانگین وزنی تاج پوشش زیر حوزه‌ها در وضعیت اولیه (بدون سناریو) در جدول ۹ آمده است. مطابق با جدول ۹ میانگین وزنی تاج پوشش کل حوضه در وضعیت اولیه (بدون سناریو) ۲۱ درصد است و هم‌چنین بر اساس درصد تاج پوشش زیر حوزه‌ها، حوزه آبخیز کلات در وضعیت هیدرولوژیکی ضعیف قرار دارد.

جدول ۷: وقایع بارندگی و نتایج آماری مرحله اعتبارسنجی

Nash Sutcliffe	RMSE	R ²	دبی محاسباتی (m ³ /s)	دبی مشاهداتی (m ³ /s)	میزان بارندگی (میلی‌متر)	تاریخ واقعه بارشی
۰/۹۰	۰/۲۰	۰/۹۵	۹/۱	۹/۶	۱۳	۱۳۹۳/۰۳/۰۸
۰/۹۱	۰/۳	۰/۹۰	۲۱/۱	۲۱/۵	۱۷/۵	۱۳۹۲/۰۲/۰۴
۰/۹۲	۰/۳	۰/۹۰	۳۱/۵	۳۲/۴	۲۴/۵	۱۳۸۲/۰۳/۰۸

جدول ۸: زمان تمرکز مربوط به سناریوهای مکانیکی

زیر حوزه‌هایی که اقدامات انجام شده / نشده			
سناریو دوم مکانیکی	سناریو اول مکانیکی	بدون سناریوی مکانیکی	نام زیر حوزه‌ها
زمان تمرکز (دقیقه)	زمان تمرکز (دقیقه)	زمان تمرکز (دقیقه)	
۱۰۰	۹۴	۸۱	زیر حوزه ژرف-۱ آری
۵۷	۵۱	۴۲	زیر حوزه ژرف-۲ آری
۷۰	۶۱	۵۳	زیر حوزه ژرف-۳ آری
۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	زیر حوزه ژرف-۴ خیر
۷۰	۷۰	۵۱	زیر حوزه ژرف-۵ آری
۶۸	۵۸	۴۱/۲	زیر حوزه-۱ آری
۳۴	۳۴	۳۴	زیر حوزه-۲ خیر
۴۸/۵	۴۸/۵	۴۸/۵	زیر حوزه-۳ خیر
۶۲	۵۵	۳۲/۲	زیر حوزه-۴ آری
۳۲/۸	۳۲/۸	۳۲/۸	زیر حوزه-۵ خیر
۶۲	۵۵	۳۴/۶	زیر حوزه-۶ آری
۳۲/۸	۳۲/۸	۳۲/۸	زیر حوزه-۷ خیر
۶۴	۵۹	۳۵/۸	زیر حوزه-۸ آری
۶۶	۵۹	۳۸/۸	زیر حوزه-۹ آری
۸۸	۷۷	۵۰/۸	زیر حوزه-۱۰ آری
۹۸	۸۵	۶۱	زیر حوزه-۱۱ آری
۲۸	۲۸	۲۸	زیر حوزه-۱۲ خیر
۳۵/۲	۳۵/۲	۳۵/۲	زیر حوزه-۱۳ خیر

جدول ۹ برای سناریوهای بیولوژیکی شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب وضعیت هیدرولوژیکی متوسط، متوسط و خوب را در هر زیر حوضه نشان می‌دهد.

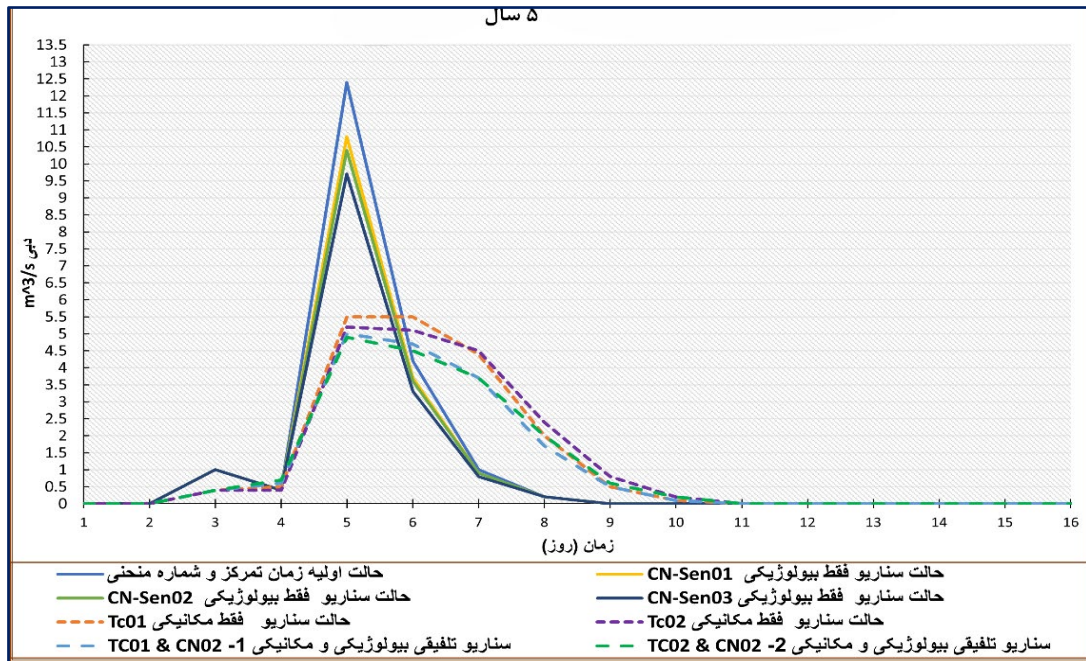
مطابق جدول ۹، میانگین درصد تاج پوشش زیر حوزه‌ها در ستون‌های مربوط به سناریوهای بیولوژیکی شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۳۴، ۳۹ و ۵۱ درصد به دست آمده است. همچنین مطابق با

جدول ۹: شماره منحنی‌ها و تاج پوشش‌های مربوط به وضعیت اولیه و سناریوهای بیولوژیکی حوضه

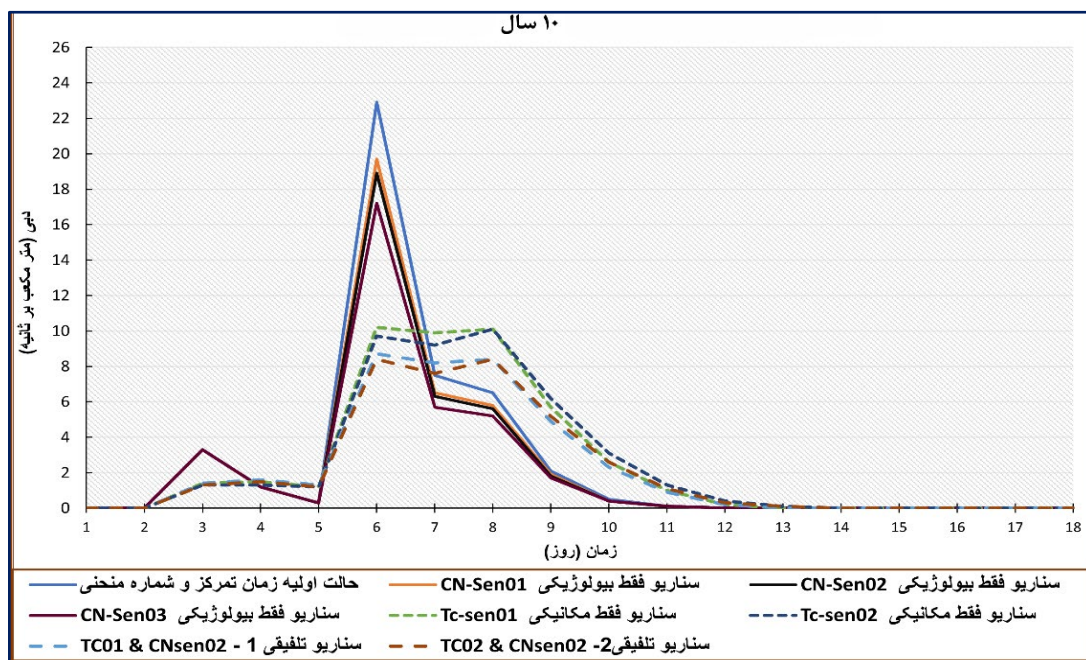
سناریو بیولوژیکی (۳)		سناریو بیولوژیکی (۲)		سناریو بیولوژیکی (۱)		وضعیت زیر حوزه‌ها بدون سناریو			زیر حوزه‌ها
وضعیت هیدرولوژیکی خوب، تاج پوشش ۸۰-۸۵ درصد در هر ناحیه مرتعی		وضعیت هیدرولوژیکی متوسط، تاج پوشش ۶۷-۶۵ درصد در هر ناحیه مرتعی		وضعیت هیدرولوژیکی متوسط، تاج پوشش ۵۵ درصد در هر ناحیه مرتعی		وضعیت هیدرولوژیکی ضعیف			
شماره منحنی	میانگین وزنی	شماره منحنی	میانگین وزنی	شماره منحنی	میانگین وزنی	شماره منحنی	میانگین وزنی	شماره منحنی	اولیه
(CN)	تاج پوشش (درصد)	(CN)	تاج پوشش (درصد)	(CN)	تاج پوشش (درصد)	(CN)	تاج پوشش (درصد)	(CN) واسنجی شده	
۶۲	۷۵/۶	۴۸	۷۸/۴	۴۲	۷۹/۴	۳۰	۸۳	۸۴/۷	زیر حوزه ژرف-۱
۸۲	۷۲	۶۳	۷۵/۷	۵۵	۷۶/۶	۳۰	۸۳/۴	۸۵	زیر حوزه ژرف-۲
۶۵	۷۶	۵۰	۷۸/۵	۴۲	۸۰	۲۴	۸۵/۷	۸۷	زیر حوزه ژرف-۳
۸۵	۷۶	۴۵	۷۸/۹	۴۰	۷۹	۲۵	۸۳/۷	۸۵	زیر حوزه ژرف-۴
۶۲	۷۴/۴	۴۸	۷۷/۳	۴۲	۷۷/۸	۲۸	۸۲/۴	۸۴	زیر حوزه ژرف-۵
۳۴	۷۹	۲۶	۸۱	۲۲	۸۲	۱۶	۸۳/۶	۸۵/۴	زیر حوزه-۱
۴۳	۷۲	۳۳	۷۴	۲۸	۷۶	۱۹	۷۸/۲	۸۰	زیر حوزه-۲
۴۰	۷۶	۳۰	۷۹	۲۶	۸۰	۱۶	۸۱/۲	۸۳	زیر حوزه-۳
۶۰	۷۰	۴۶	۷۴/۳	۳۹	۷۶	۲۲	۸۰/۴	۸۲/۲	زیر حوزه-۴
۴۸	۷۴	۳۷	۷۶	۳۱	۷۸	۲۰	۸۰/۵	۸۲/۳	زیر حوزه-۵
۴۴	۷۵	۳۳	۷۷	۲۸	۷۹	۱۵	۸۲/۹	۸۴/۷	زیر حوزه-۶
۲۶	۷۹	۲۰	۸۰	۱۷	۸۱	۱۲	۸۲/۷	۸۴/۵	زیر حوزه-۷
۴۸	۷۴	۳۶	۷۶	۳۱	۷۸	۱۷	۸۲/۵	۸۴/۳	زیر حوزه-۸
۳۳	۷۷	۲۵	۷۹	۲۱	۸۲	۱۳	۸۳/۹	۸۵/۷	زیر حوزه-۹
۲۱	۸۲	۱۶	۸۴	۱۳	۸۵	۸	۸۶/۹	۸۸/۷	زیر حوزه-۱۰
۳۹	۷۸	۳۰	۸۰	۲۴	۸۲	۱۲	۸۴/۷	۸۶/۵	زیر حوزه-۱۱
۳۸	۷۸	۲۹	۸۰	۲۴	۸۱	۱۴	۸۳/۱	۸۴/۹	زیر حوزه-۱۲
۱۹	۸۱	۱۴	۸۲	۱۲	۸۲/۸	۸	۸۳/۵	۸۵/۳	زیر حوزه-۱۳
۵۱		۳۹		۳۴		۲۱			کل حوضه

پس از شبیه‌سازی سناریوهای موردنظر در مدل HEC-HMS، نتایج شبیه‌سازی دبی‌های مربوط به دوره بازگشت‌های بارندگی شامل ۵ سال، ۱۰ سال، ۲۵ سال، ۵۰ سال و ۱۰۰ سال در جدول (۱۰) آمده است. نتایج مرتبط با اجرای هرکدام از دوره بازگشت‌ها در مدل مذکور شامل یک مورد بدون سناریو، ۳ مورد سناریوهای

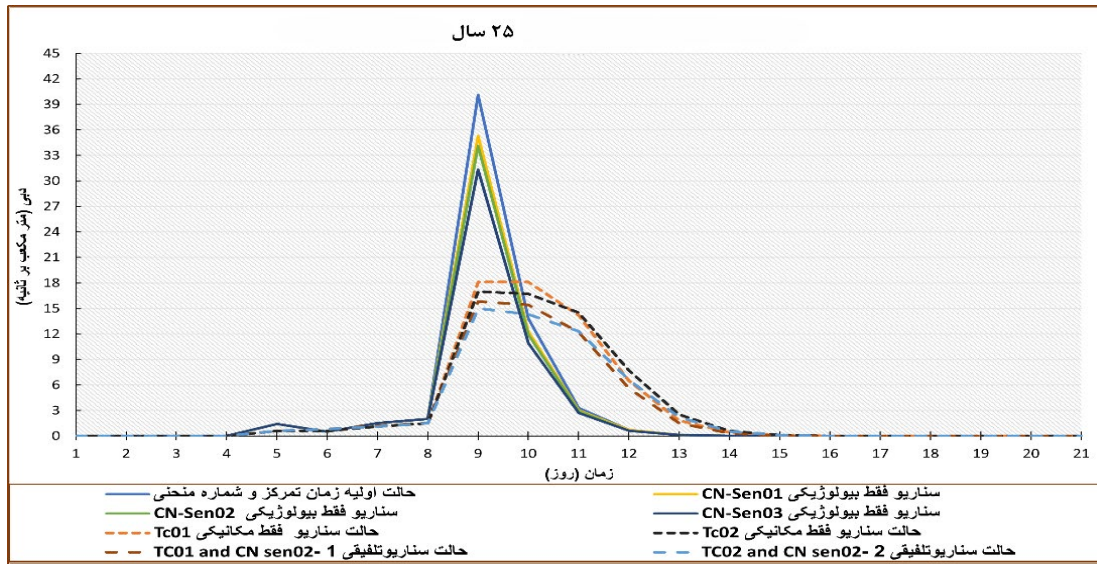
بیولوژیکی، ۲ مورد سناریوهای مکانیکی و ۲ مورد سناریوهای تلفیقی در قالب نمودار و جدول آمده است. آبنمودهای سیلاب در خروجی حوزه مربوط به بارندگی با دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب در اشکال ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشان داده می‌شوند.



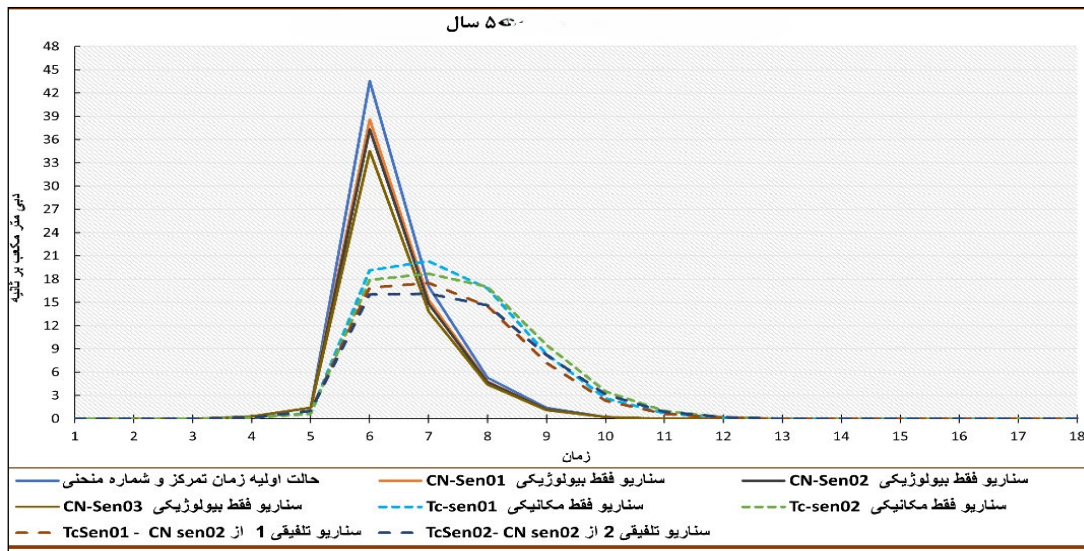
شکل ۸: هیدروگراف سیلاب در خروجی حوزه برای سناریوهای مختلف و بارندگی با دوره بازگشت ۵ سال



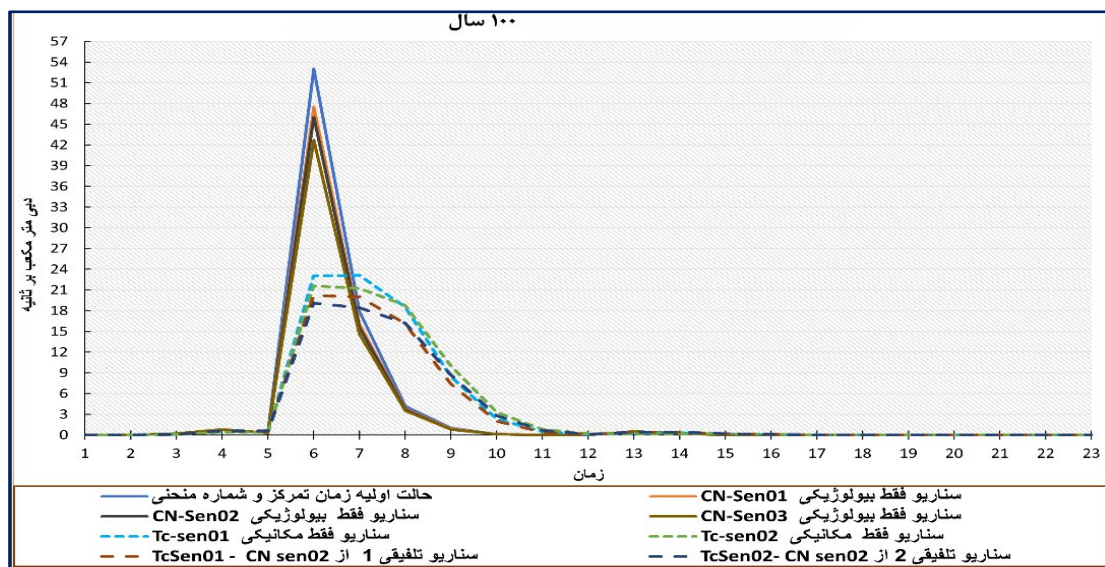
شکل ۹: هیدروگراف سیلاب در خروجی حوزه برای سناریوهای مختلف و بارندگی با دوره بازگشت ۱۰ سال



شکل ۱۰: هیدروگراف سیلاب در خروجی حوزه برای سناریوهای مختلف و بارندگی با دوره بازگشت ۲۵ سال



شکل ۱۱: هیدروگراف سیلاب در خروجی حوزه برای سناریوهای مختلف و بارندگی با دوره بازگشت ۵۰ سال



شکل ۱۲: هیدروگراف سیلاب در خروجی حوزه برای سناریوهای مختلف و بارندگی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

۱۸ درصد نسبت به دبی اوج اولیه کاهش پیدا می‌کند؛ اما با افزایش دوره بازگشت بارندگی، نسبت دبی اوج سناریوهای بیولوژیکی به دبی اوج اولیه در دوره بازگشت‌های بارندگی ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به‌طور میانگین به ترتیب ۱۶، ۱۵ و ۱۴ درصد کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه با افزایش دوره بازگشت بالای ۱۰ سال کارایی عملیات بیولوژیکی اندکی کم‌تر می‌شود. در رابطه با عملیات مکانیکی همان‌گونه که قبلاً اشاره شد تنها دو سناریو در نظر گرفته شده است. مقادیر دبی اوج سناریوهای مکانیکی در دوره بازگشت‌های بارندگی ۵ و ۱۰ سال به‌طور میانگین ۵۷ و ۵۵ درصد نسبت به دبی اوج اولیه کاهش پیدا می‌کند. همین‌طور با افزایش دوره بازگشت بارندگی، نسبت دبی اوج سناریوهای مکانیکی به دبی اوج اولیه در دوره بازگشت‌های بارندگی ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به‌طور میانگین به ترتیب ۵۶، ۵۵ و ۵۷ درصد کاهش پیدا می‌کند. زمان وقوع دبی اوج سناریوهای اول و دوم مکانیکی نسبت به زمان وقوع دبی اوج اولیه (بدون سناریو) در تمام دوره بازگشت‌ها با یک تا دو روز تأخیر اتفاق می‌افتد. هم‌چنین مطابق اشکال ۸ تا ۱۲ زمان پایه هیدروگراف‌های سناریوهای مکانیکی نسبت به زمان پایه هیدروگراف دبی اوج اولیه (بدون سناریو) با افزایش مواجهه است. در رابطه با کارایی سناریوهای مکانیکی، با افزایش دوره بازگشت بالای ۱۰ سال کارایی عملیات مکانیکی در کاهش مقدار دبی اوج برخلاف سناریوهای بیولوژیکی کاهش نمی‌یابد، احتمالاً به این دلیل که در مدل‌سازی با سناریوهای مکانیکی روندیابی مخزن در مدل در نظر گرفته شده است.

برخلاف این پژوهش فیروزآبادی و همکاران [۷] نتایجی که گرفتند تأثیر سازه‌ها بر کاهش مقدار دبی اوج، با افزایش دوره بازگشت کاهش می‌یابد و هم‌چنین در پژوهش ایشان اقدامات بیولوژیک تا دوره بازگشت ۱۰ سال افزایشی و بعد از آن رو به کاهش است؛ که نتایج اقدامات بیولوژیکی در پژوهش ایشان با این پژوهش هم‌راستا می‌باشد. وقوع نتیجه این پژوهش که برخلاف نتیجه پژوهش ایشان در مورد تأثیر سازه‌ها بر دبی اوج می‌باشد؛ احتمالاً به این دلیل است که در این پژوهش بخش روندیابی مخزن در مدل مورد توجه قرار گرفته که در پژوهش ایشان به آن اشاره‌ای نشده بود؛ دومین دلیل این است که با توجه به تعداد بالای سازه‌ها تعریف شده (۳۸ و ۲۶ عدد)، تأثیر سناریوی سازه‌ها بر کاهش مقدار دبی اوج با افزایش دوره بازگشت روند نسبتاً ثابتی دارد و نقش این مورد برجسته می‌باشد و البته در پژوهش ایشان یک سازه وجود داشته است. سومین علت این است که به احتمال زیاد محاسبه ابعاد مخزن با استفاده از نقشه سلولی رقومی ارتفاع با ابعاد ۱۰ متر و تفاوت‌هایی که با وضعیت واقعی محل دارد، در روندیابی و در نتایج حاصل تأثیرگذار است.

در رابطه با روند ثابت تأثیر سناریوهای مکانیکی بر مقادیر دبی‌های اوج، احتمالاً مربوط به خطای مدل HEC-HMS در فرآیند شبیه‌سازی با استفاده از متد یا روش روندیابی مخزن و تأثیر تعریف

سازه‌ها بر مدل مذکور می‌باشد. برای دو سناریو تلفیقی اول و دوم، مقادیر دبی اوج در دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ سال به‌طور میانگین ۶۰ و ۶۲ درصد نسبت به دبی اوج اولیه کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین مقادیر دبی اوج سناریوهای تلفیقی اول و دوم نسبت به دبی اوج اولیه در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به‌طور میانگین به ترتیب ۶۱/۵، ۶۱/۳ و ۶۳ درصد کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین مطابق اشکال ۸ تا ۱۲ زمان پایه هیدروگراف‌های سناریوهای تلفیقی نسبت به زمان پایه هیدروگراف دبی اوج اولیه (بدون سناریو) با افزایش مواجهه است.

فرجی و همکاران [۸] نتیجه گرفتند که بیش‌ترین کاهش دبی اوج در دوره بازگشت ۱۰ سال رخ داده است و با افزایش دوره بازگشت تأثیر اقدامات آبخیزداری بر روی دبی اوج کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش ایشان در رابطه با عملیات بیولوژیکی با نتایج این پژوهش هم‌راستا است اما درباره عملیات مکانیکی و تلفیقی برخلاف نتیجه‌گیری این پژوهش است؛ و در رابطه با علت هم‌راستا نبودن این پژوهش با پژوهش ایشان در مورد عملیات مکانیکی، در پژوهش ایشان روندیابی مخزن در نظر گرفته نشده بود و برای ارزیابی اقدامات مکانیکی تنها تأثیر بر شیب و زمان تمرکز توجه شده بود. علت دیگر هم‌راستا نبودن شامل موارد ذیل است، در این پژوهش تعریف ابعاد مخازن و روش روندیابی سیل مخزن در مدل صورت پذیرفته است. هم‌چنین تعداد بالای سازه‌های تعریف شده در این پژوهش (۳۸ یا ۲۶ عدد) در مدل حوضه، در روند ثابت تأثیر اقدامات سازه‌ای بر دبی اوج با افزایش دوره بازگشت بالای ۱۰ سال مؤثر است. در رابطه با علت هم‌راستا بودن نتایج در مورد عملیات بیولوژیک، می‌توان به این مورد اشاره کرد که در پژوهش ایشان و این پژوهش تأثیر اقدامات بیولوژیکی بر نفوذپذیری و شماره منحنی توجه شده است. علت هم‌راستا نبودن نتایج اقدامات تلفیقی این پژوهش با پژوهش ایشان این است که اقدامات تلفیقی شامل مکانیکی می‌شود و این تفاوت در نتایج اقدامات مکانیکی بر تلفیقی تأثیرگذار است.

نتایج پژوهش قضاوی و همکاران [۹] نشان می‌دهد که احداث سازه‌های آبخیزداری یا بندهای اصلاحی، دبی پیک و حجم سیلاب حوزه آبخیز خواه را کاهش می‌دهد و هم‌چنین باعث افزایش زمان پایه هیدروگراف می‌شود که با نتایج این پژوهش در رابطه با عملیات مکانیکی هم‌راستا است. البته علت وقوع نتایج در این پژوهش متفاوت از پژوهش ایشان است که در پژوهش ایشان صرفاً با فرض دو برابر شدن زمان تأخیر، اقدامات مکانیکی با استفاده از مدل HEC-HMS بررسی شد و تأثیر سازه‌ها بر حجم سیلاب بدون دخالت مدل محاسبه و ارزیابی شد؛ اما در این پژوهش علاوه بر افزایش زمان تمرکز همان‌طور که اشاره گردید مشخصات مخازن، ابعاد سازه و موقعیت ارتباط با دیگر عناصر حوزه در مدل تعریف گردید.

با مقایسه حجم سیلاب‌های خروجی کل حوزه، حجم سیلاب

سناریوهای بیولوژیکی شماره (۱)، (۲) و (۳) نسبت به حجم سیلاب حالت اولیه در دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ سال به‌طور میانگین به ترتیب ۱۵/۵ و ۱۵/۸ درصد با کاهش حجم مواجه است. هم‌چنین با افزایش دوره بازگشت، نسبت حجم سیلاب سناریوهای بیولوژیکی به حجم سیلاب حالت اولیه در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به‌طور میانگین به ترتیب ۱۴/۶، ۱۴/۳ و ۱۳/۷ درصد با کاهش حجم مواجه است. با مقایسه حجم سیلاب سناریوهای مکانیکی اول و دوم نسبت به حجم سیلاب حالت اولیه می‌توان گفت در دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ سال به‌طور میانگین به ترتیب ۱/۴ و ۱/۱ درصد با کاهش حجم مواجه است. هم‌چنین با افزایش دوره بازگشت، نسبت حجم سیلاب سناریوهای مکانیکی به حجم سیلاب اولیه در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۸، ۰/۷ و ۰/۹ درصد با کاهش حجم مواجه است. با مقایسه حجم سیلاب سناریوهای تلفیقی اول و دوم نسبت به حجم سیلاب حالت اولیه، در دوره بازگشت‌های ۵ و ۱۰ سال به‌طور میانگین به ترتیب ۱۲ و ۱۴ درصد با کاهش حجم مواجه است. هم‌چنین با افزایش دوره بازگشت، نسبت حجم سیلاب سناریوهای تلفیقی به حجم سیلاب اولیه در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به‌طور میانگین به ترتیب ۱۳/۵، ۱۲/۸ و ۱۲/۳ درصد با کاهش حجم همراه می‌شود.

نتیجه‌گیری

در نتیجه گیری کلی می‌توان گفت عملیات بیولوژیکی علاوه بر کاهش حجم بر کاهش دبی اوج نیز مؤثر است و هم‌چنین این پژوهش نشان می‌دهد که کاهش مقادیر دبی اوج در سناریوهای بیولوژیکی نسبت به دبی اوج اولیه (بدون سناریو) اندکی بیش‌تر از کاهش حجم سیلاب در سناریوهای بیولوژیکی نسبت به حجم سیلاب اولیه (وضعیت بدون سناریو) اتفاق می‌افتد. تأثیر سناریوهای بیولوژیک در کاهش دبی و حجم سیلاب تا دوره بازگشت ۱۰ سال بیش‌ترین مقدار و بعد از دوره بازگشت ۱۰ سال این روند رو به کاهش است. به‌بیان‌دیگر با افزایش دوره بازگشت بالای ۱۰ سال کارایی عملیات بیولوژیکی اندکی کم‌تر می‌شود.

اقدامات مکانیکی برخلاف اقدامات بیولوژیکی منجر به تأخیر در زمان وقوع دبی اوج می‌شوند و کاهش مقدار دبی اوج در اقدامات مکانیکی نسبت به اقدامات بیولوژیکی بیش‌تر است؛ اما حجم سیلاب را نسبت به اقدامات بیولوژیکی به‌صورت بسیار ناچیز کاهش می‌دهند. سناریوهای مکانیکی با افزایش دوره بازگشت در کاهش دبی اوج روند ثابتی دارد و برخلاف نتایج پژوهش‌های مشابه می‌باشد که احتمال می‌رود به دلیل استفاده از روش روندیابی مخزن و تعریف سازه در فرآیند شبیه‌سازی مدل HEC-HMS در پژوهش حاضر باشد. هم‌چنین با افزایش دوره بازگشت بالای ۱۰ تأثیر اقدامات مکانیکی بر کاهش حجم سیلاب روند نزولی دارد. در رابطه با اقدامات تلفیقی، این اقدامات

با ایجاد تأخیر دو تا سه روز در زمان وقوع دبی اوج و از نظر کاهش مقدار دبی اوج نسبت به سناریوهای بیولوژیکی و مکانیکی قابل‌توجه است. هم‌چنین سناریوهای تلفیقی در کاهش مقدار دبی اوج با افزایش دوره بازگشت روند ثابتی دارد، احتمال می‌رود علت این مورد استفاده از روندیابی مخزن و تعریف سازه در فرآیند شبیه‌سازی مدل HEC-HMS در پژوهش حاضر باشد. البته عملیات تلفیقی در کاهش حجم سیلاب هم مؤثرتر است و این کاهش حجم اندکی بیش‌تر از سناریوهای بیولوژیکی شماره (۱) و (۲) است و برخلاف سناریوهای بیولوژیکی با افزایش دوره بازگشت بالای ۱۰ سال کارایی خود را در کاهش حجم سیلاب حفظ می‌کند. هم‌چنین نتایج این پژوهش، افزایش دو روز در زمان پایه هیدروگراف‌های مرتبط با سناریوهای مکانیکی و تلفیقی را نسبت به زمان پایه هیدروگراف‌های مربوط به سناریوهای بیولوژیکی و سیلاب اولیه (وضعیت بدون سناریو) نشان می‌دهد؛ به‌بیان‌دیگر کشیدگی در شکل آنمودهای مربوط به سناریوهای مکانیکی و تلفیقی رخ داده است و می‌توان نتیجه گرفت که قدرت و مقدار سیلاب در سناریوهای مکانیکی و حجم، مقدار و قدرت سیلاب در سناریوهای تلفیقی کاهش می‌یابد؛ در نهایت در این پژوهش این نتیجه به‌دست‌آمده است که بیش‌ترین تا کم‌ترین اولویت از دیدگاه تأثیرگذاری بر خصوصیات سیلاب به ترتیب شامل سناریوهای تلفیقی، مکانیکی و بیولوژیکی می‌باشد.

منابع

1. Abbasi, A. 2008. Basics of design and implementation and maintenance guidelines for flood and sediment control structures (Remedial Dams), Tehran: Office of Executive Technical System of Deputy Planning and Strategic Supervision, 416, 81 p (In Persian).
2. Abbasizadeh, M., Movahedzadeh, S., Hoshyar, M. K., and Nik Manesh, M. 2022. Investigating the reduction of the destructive effects of seasonal floods using watershed management plans (case study: Pasargad city). Journal of research in civil engineering and architecture of Iran, approach: intelligent method, 27: 21-29 (In Persian).
3. Alizadeh, A. 2015. Principles of applied hydrology, Mashhad: Imam Reza University, 637 p (In Persian).
4. Alijani, B. and Afshar Manesh, H. 2015. Statistical analysis of long-term rainfall values to fit the appropriate statistical distribution (case study: Iran). Journal of Geography and Urban Planning Zagros Landscape, 7(25): 73-95 (In Persian).

Earth, 100: 371-382.

13. Haji, L. and Karimi, H., 2021. Investigating the Causes and Effects of Floods in the Agricultural Sector and Provide Management Strategies to Reduce Damage. The 10th international conference on rainwater catchment systems, University of Kurdistan (In Persian).

14. Jahangeer, A. R., Raeini, M., and Ahmadi, M.Z. 2008. Comparison of artificial neural networks (ANN) simulation of rainfall-runoff process with HEC-HMS model in Kardeh watershed. Journal of Water and soil (agricultural sciences and industries), 22(2): 73-84 (In Persian).

15. Mahdavi, M. 2014. Applied Hydrology (Vol. II), Tehran University Press, 437 p (In Persian).

16. Niyazi, B.A., Masoud, M., Ahmed, M., Basahi, J., and Rashed, M. 2020. "Runoff assessment and modeling in arid regions by integration of watershed and hydrologic models with GIS techniques". Journal of African Earth Sciences, 172:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103966>

17. Nourali, M., and Ghahraman, B. 2016. Assessment of Watershed Management Projects on Flood Hydrograph using HEC-HMS Model (Case Study: Goosh-Bahreh Watershed). Journal of Watershed Management Research, 13: 60-71 (In Persian).

18. Rahimzadeh, Z., and Habibi, M. 2018. Simulation of hydrograph of flood with hydrological model HEC-HMS and prediction of return period in Kermanshah Ravansar Basin. Geography and Development, 53: 175-194 (In Persian).

19. Yuan, S., Li, Z., Chen, L., Li, P., Zhang, Z., Zhang, J., Wang, A. and Yu, K. 2021. "Effects of check dam system on the runoff generation and concentration processes of a catchment on the Loess Plateau". International Soil and Water Conservation Research, 10: 86-98.

20. Zabihi, B., and Khame Chin Moghadam, F. 2018. Estimating the output hydrograph of the watershed using the HEC-HMS model (case study: the watershed of Kardeh Khorasan Razavi river). Sustainable Development in Agriculture environment Tourism and Natural Resources (In Persian).

5. Azari, M., Sadeghi, S., and Talvari, A. 2011. Evaluation of watershed measures on flood characteristics using the integration of HEC-HMS and HEC-RAS models in the GIS environment (case study: Jagharghe watershed). Iran-Watershed Management Science & Engineering, 15: 69-72 (In Persian).

6. Khorasan_Razavi General Administration of Natural Resources and Watershed Management. 2020. Integrated studies of watershed management and natural resources in the urban watershed area of Kalat_Naderi, Synthesis and planning report. (In Persian).

7. Dehghani Firouzabadi, N., Jamali, A., and Hasanzadeh Nafouti, M. 2013. Investigating watershed management measures to reduce flooding in the watershed with the help of the HEC-HMS mathematical model (case study: Tarzjan Yazd watershed). Scientific-research journal of geographic space, 47: 163-182 (In Persian).

8. Faraji, S.H., and Mohammady Golrang, B. 2015. Evaluation of the effect of watershed management measures on flooding and sedimentation; case study of Kardeh watershed. The 7th National Conference on watershed management and water and soil resources management, Kerman, Iran, February 2014 (In Persian).

9. Ghazavi, R., and Omidvar, E. 2023. Evaluation of the effects of constructed rehabilitation dams on maximum and volume of watershed discharge. Technical Strategies in Water Systems, 1(1): 55-67 (In Persian).

10. Ghotbaldin, F., Nohtani, M., and Dehghani, M. 2019. Role of Watershed Management Practices on Flood Hydrograph Characteristics (Case Study: Kakhk Paired Watershed). Journal of Watershed Management Research, 19: 204-210 (In Persian).

11. Gonzalez-Cao, J., Fenandez-Novoa, D., Garcia Feal, O., figueira, J. R., Vaquero, J. M., Trigo, R. M., and Gomez-Gesteira, M. 2021. "Numerical reconsteuction of historical extreme floods: The Guadiana event of 1876". Journal of Hydrology, Vol. 599, 12 p.

12. Gumindoga, W., Rwasoka, D.T., Nhapi, I., and Dube, T. 2016. "Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application of the HEC-HMS model". Physics and Chemistry of the

21. Zhao, M., Liu, Y., Wang, Y., Chen, Y., and Ding, W. 2022. "Effectiveness assessment of reservoir projects for flash flood control, water supply and irrigation in Wangmo Basin, China". Science of the Total Environment, Vol. 851, Part 2, 14 p.



Abstract

Evaluation of the Impacts of Watershed Management Projects on Flood Hydrographs Characteristics (Case study: Scenarios for the Watershed Upper the Kalat)

B. Hamed Sepasi¹, M.T. Dastorani*² and M. Azari³

Received: 2024/08/18 Accepted: 2025/01/04

In order to investigate the effects of watershed management measures on flood characteristics, quantitative results can be obtained by simulating the flood hydrograph in the periods before and after these measures. The rainfall and runoff data were fitted with statistical distributions and return periods were obtained using Easy Fit software. 3 scenarios were defined for biological operations, 2 scenarios for structural actions, and 2 scenarios for combined (biological- structural) operations. With the help of Arc GIS and HEC-HMS programs, the dimensions of reservoirs and structures, flood hydrographs and flood trends in the reservoir were calculated. The results of the biological, structural and integrated scenarios in the reduction of the peak flow compared to the initial peak flow, respectively, for the return periods below 10 years - above 10 years on average, 18 - 15, 56 - 54 and 62 - 60 percent, respectively, indicates a decrease. As a result, the biological scenarios are most effective for the floods with the return period up to 10 years, and after that it is decreasing. Structural scenarios have a steady trend in reducing the peak discharge with the increase of the return period and also, the reduction of flood volume in this scenario is very small. Combined scenarios have a steady trend in reducing the peak discharge with increasing return period, but in the case of reducing flood volume, it remains constant until the return period of 10 years, and after 10 years, its efficiency decreases.

Keywords: Flood adjustment, Flood hydrograph, Flood control, Biological measures, Mechanical measures, Hydrological models, Watershed management, Peak discharge and flood control.

1. M.Sc Graduate in Watershed sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2. Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Corresponding Author, E-mail: dastorani@um.ac.ir

3. Associate professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.