

## تعیین میزان مشارکت واحدهای هیدرولوژیک در سیلاب کل حوضه آبریز رودخانه خراسان

نیما توان پور<sup>۱\*</sup>، محمد افلاطونی<sup>۲</sup> و نجمه نظری<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۲۲)

DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.77

### چکیده

هدف از این پژوهش تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌ها از نقطه نظر مساحت، دبی یک جریان رودخانه در سیل خیزی کل حوضه آبریز رودخانه خراسان در استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. برای این کار از مدل بارش-رواناب HEC-HMS برای شبیه‌سازی دبی رواناب ۱۱ زیرحوضه استفاده به عمل آمد. اطلاعات ورودی این مدل با ابزار سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. نتایج نشان داد که با تغییر در دوره بازگشت‌های مختلف، تغییر اندکی در اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها مشاهده می‌شود. به طوری که به ازای دوره بازگشت ۲، ۵۰ و ۱۰۰ سال، سیل خیزترین زیرحوضه‌ها بدون تغییر و به ترتیب زیرحوضه‌های ۱ تا ۱۱ خواهند بود. سهم مشارکت از نقطه نظر مساحت و دبی جریان با هم متفاوت بود، به طوری که اثر مساحت بین ۰/۳۱ تا ۱/۰۳ درصد یعنی زیرحوضه ۶ بالاترین رتبه و زیرحوضه ۷ پائین‌ترین رتبه را داشتند. در حالی که از نقطه نظر دبی، اثر حذف زیرحوضه‌ها بین ۵۱/۲ تا ۱۰۰۴/۲ درصد بود، یعنی زیرحوضه ۶ کمترین دبی و زیرحوضه ۱۱ بیشترین مقدار دبی را داشت.

واژه‌های کلیدی: سیل‌خیزی، مدل بارش-رواناب، سامانه اطلاعات جغرافیایی، حوضه آبریز، رودخانه خراسان

۱. بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۱. بخش مهندسی آب، دانشکده علوم، کشاورزی و فناوری‌های نوین، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز

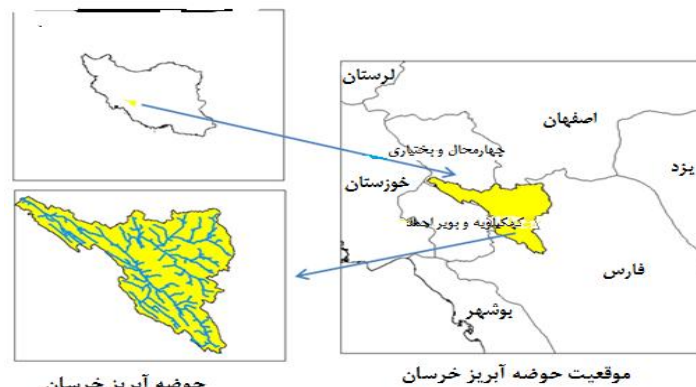
\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی nima.tavanpour@gmail.com

## مقدمه

خسارات ناشی از سیل در چند دهه اخیر به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است که این نشان‌دهنده افزایش فراوانی و شدت سیل است (۱۵). بر اساس گزارشات آژانس مدیریت حوادث غیرمترقبه فدرال دولت آمریکا (FEMA)، سیل دومین بلای همه‌گیر در جهان است که خسارات جبران‌ناپذیری را به جوامع انسانی وارد می‌آورد (۱۳). در طول سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۷۰ در ایران، فراوانی سیل ۹۶۷ بار بوده و در هر بار در حدود ۴۴ هزار نفر تحت تأثیر خسارات سیل قرار گرفته‌اند (۶). در حال حاضر مهم‌ترین و اساسی‌ترین روش‌های علمی و عملی، برای مقابله با خسارت‌های جانی و مالی سیل، شناخت دقیق رفتارهای این پدیده مخرب و هماهنگ شدن فعالیت‌های انسانی براساس قانون‌مندی‌های نوسانات این پدیده است. باید این واقعیت را پذیرفت که یکی از راه‌حل‌های اصولی و چاره‌ساز برای پیشگیری و مهار سیل، شناسایی مناطق خطرناک و سیل‌خیز در داخل حوضه آبریز است.

چاو (۱۹۵۶) سیل را یک جریان نسبتاً بالایی از آب می‌داند که بر کانال طبیعی رود، جهت ایجاد رواناب فشار وارد می‌کند (۹). یوویچ (۱۹۶۸) جریان زیاد رودخانه را که به‌موجب آن دشت‌های سیلابی یا نواحی خارج از محدوده کانال اصلی را می‌پوشاند، سیل تعریف می‌کند (۱۴). وارد (۱۹۷۸) حجمی از آب، که بالا آمده و مناطق اطراف رودخانه را می‌پوشاند، سیل تلقی می‌کند که این فرو رفتن زیر آب یک وضعیت غیرنرمال تلقی می‌شود (۱۶). سیلاب‌های ناشی از ترکیب باران و ذوب برف نیز در رودخانه‌هایی ایجاد می‌شوند که حداقل بخش قابل توجهی از سطح حوضه آبریز رودخانه در منطقه برفی واقع شده باشد (۴). افتخاری و همکاران (۱۳۸۸) به‌منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب و تعیین ضریب خطرپذیری نقاط روستایی در حریم رودخانه گرگانرود، از مدل Hec-Geo-Ras در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای لندست، مدل رقومی ارتفاع، مقاطع عرضی رودخانه و مقاطع طولی به‌همراه شیب متوسط در هر مقطع استفاده کردند (۲). اولاد غفاری و همکاران (۱۳۸۹)

روندیابی هیدرولیکی سیلاب رودخانه مهراں رود در منطقه ليقوان را به روش موج دینامیک بررسی کرده و آن را با روندیابی هیدرولوژیکی ماسکینگام خطی و غیرخطی مورد مقایسه قرار دادند که در آن برای تخمین پارامترهای مدل ماسکینگام از روش کمترین مربعات خطاها استفاده شد (۳). میرنا صری و فضل اولی (۱۳۹۱) جهت تعیین پهنه سیلاب رودخانه چالوس از تلفیق مدل هیدرولیک رودخانه (Hec-Ras) و سامانه اطلاعات جغرافیایی از طریق الحاقیه Hec-Geo Ras استفاده کردند (۷). احمدزاده و همکاران (۱۳۹۳) به‌منظور بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد به وقوع سیل در شهر ماکو، ویژگی‌های فیزیوگرافی محدوده مورد مطالعه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، توابع تحلیلی سامانه اطلاعات جغرافیایی و WMS معین کرده و پهنه‌های تولید سیل را در منطقه، شناسایی و مسیل‌های هدایت‌کننده سیلاب به کالبد شهر را تحلیل کردند (۱). رفیعی و همکاران (۱۳۹۴) 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 سه‌سالار بیشترین زیرحوضه ولایت رود کمترین سهم را در پتانسیل سیل‌خیزی دارد (۵). کومار و باتاچاریا (۲۰۱۱) در هند با استفاده از مدل HEC-HMS به مدل‌سازی بارش رواناب پرداختند و بیان کردند که راهکار توزیعی این مدل بهتر از مدل متمرکز شبیه‌سازی جریان رود عمل می‌کند (۱۲). هگدوس و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه سیلاب‌های سریع، به حساسیت مدل HEC-HMS به رطوبت خاک پرداختند و نتیجه گرفتند که حساسیت‌پذیری قابل توجه این مدل نسبت به عامل رطوبت پیشین خاک در شبیه‌سازی حداکثرهای جریان‌های سیلابی است (۱۱). چوداری و همکاران (۲۰۱۴) استفاده از مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی وقایع بارش رواناب به‌منظور برآورد حجم رواناب، دبی حداکثر سیل و جریان پایه را در حوضه آبخیز بالاجوری نالاهند رضایت بخش دانستند (۱۰). هدف از این پژوهش تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌ها از نظر مساحت و دبی جریان رودخانه در سیل‌خیزی کل حوضه رودخانه خرسان می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در تحلیل مکانی بارش

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه)	ارتفاع (متر)
۱	ياسوج	۵۱-۳۶	۳۰-۳۹	۱۸۰۰
۲	حنا	۵۱-۴۳	۳۱-۱۱	۲۳۰۰
۳	پاتاوه	۵۱-۱۵	۳۰-۵۷	۱۲۰۰
۴	آلونی	۵۱-۰۴	۳۱-۳۲	۱۸۸۰
۵	لردگان	۵۰-۴۹	۳۱-۳۱	۱۵۸۰
۶	باغ ملک	۴۹-۵۲	۳۱-۳۲	۶۷۵

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

مختلف آن متغیر بوده، به طوری که جنوب تا شمال غرب اقلیم نیمه مرطوب معتدل تا نیمه مرطوب سرد، دامنه‌ها و نواحی هم‌بار شمال شرق، اقلیم نیمه خشک سرد و ارتفاعات فوقانی دارای اقلیم مرطوب سرد می‌باشد. یک ایستگاه هیدرومتری (ایستگاه هیدرومتری بارز) در شمال شرقی کل حوضه به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شد. این ایستگاه در مختصات جغرافیایی  $23^{\circ} - 50'$  تا  $31^{\circ} - 32'$  واقع شده است. سطح حوضه آبریز این ایستگاه معادل  $8941,7$  کیلومتر مربع و ارتفاع آن  $815$  متر از سطح دریا می‌باشد. این ایستگاه درجه یک و مجهز به اشل، پل تلفریک و لیمینوگراف می‌باشد. سال تأسیس آن  $1335-36$  بوده که تاکنون جمعاً دارای  $49$  سال آمار می‌باشد. جدول (۱) مختصات ایستگاه‌های باران‌سنجی واقع در داخل و خارج حوضه آبریز رودخانه خرسان که در برآورد بارش حوضه آبریز مورد استفاده قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد (۷).

برای انجام این پژوهش حوضه آبریز رودخانه خرسان انتخاب گردید. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. حوضه آبریز رودخانه خرسان یکی از سرشاخه‌های حوضه آبریز رودخانه کارون است. این زیرحوضه در قسمت جنوب غربی کشور و در ناحیه‌ای بین عرض جغرافیایی  $30^{\circ} - 15'$  تا  $31^{\circ} - 30'$  شمالی و طول جغرافیایی  $50^{\circ} - 55'$  تا  $52^{\circ} - 00'$  شرقی واقع شده است. بخش عمده حوضه مذکور کوهستانی بوده و ارتفاع بلندترین نقطه آن در کوه دنا در حدود  $4437$  متر ارتفاع از سطح دریا و متوسط ارتفاع حوضه برابر با  $2398$  متر از سطح دریا می‌باشد. با توجه به وسعت حوضه آبریز و وجود رشته کوه‌های مرتفع زاگرس، اقلیم منطقه در نقاط

جدول ۲. وقایع سیل برای واسنجی و صحت سنجی مدل HMS

ایستگاه آب‌سنجی	تاریخ وقوع سیلاب	دبی اوج سیل (مترمکعب در ثانیه)
ایستگاه آب‌سنجی بارز	۲۸ بهمن ماه ۱۳۶۶	۶۱۴/۲۸
	۲۳ دی ماه ۱۳۷۶	۹۷/۴
	۹ بهمن ماه ۱۳۷۸	۱۵۰/۸
	۱۶ بهمن ماه ۱۳۸۱	۳۲۱/۵
	۵ دی ماه ۱۳۸۳	۱۰۸۳/۶
	۲۶ آبان ماه ۱۳۸۴	۴۰۳/۷

### جداسازی زیرحوضه‌ها

با استفاده از ابزار Arch-Hydro و نقشه رقومی ارتفاعی منطقه، حوضه آبریز خرسان به ۱۱ زیرحوضه تقسیم و جداسازی گردید. خروجی این مدل به عنوان ورودی مدل HEC-Geo در نظر گرفته شد تا بتوان پارامترها و خصوصیات فیزیوگرافی و همچنین شبکه‌های آبراهه‌ها را وارد مدل HEC-HMS نمود (شکل ۲).

### تعیین دوره‌های بازگشت بارش

برای این منظور از توزیع فراوانی مناسب استفاده شد. برای تعیین مناسب‌ترین توزیع فراوانی در ایستگاه‌های باران‌سنجی با استفاده از نرم‌افزار plus-Hyfran، تعداد ۷ توزیع فراوانی مختلف در هر ایستگاه باران‌سنجی روی حداکثر بارش ۲۴ ساعته مورد ارزیابی قرار داده شد. نکویی برازش هر یک از توزیع‌های آماری از روش گشتاورها در نرم‌افزار ذکر شده صورت پذیرفت. سپس با استفاده از بهترین توزیع فراوانی هر ایستگاه، اقدام به محاسبه بارش حد اکثر ۲۴ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵۰ و ۱۰۰ سال گردید. جدول (۴) مقدار بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف و توزیع آماری مناسب را نشان می‌دهد.

### واسنجی و صحت‌سنجی مدل بارش - رواناب

پس از تهیه داده‌های مورد نیاز برای آماده‌سازی مدل بارش - رواناب، ابتداء اقدام به واسنجی فراسنج‌های شماره منحنی،

به‌طور خلاصه در این تحقیق، سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان یک ابزار برای رسم مدل ورودی به نرم‌افزار بارش - رواناب HEC-HMS به‌کار گرفته شده است که مراحل کار به شرح زیر می‌باشد:

### مدل‌های مورد استفاده

مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش به‌ترتیب مدل‌های Arch-Hydro، Geo-HMS و HEC-HMS بود بدین نحو که مدل Arch-Hydro برای جداسازی زیرحوضه‌ها، مدل HEC-HMS تحت سامانه اطلاعات جغرافیایی برای استخراج لایه ورودی مدل بارش و رواناب به‌کار رفت. مدل HEC-HMS به‌عنوان مدل بارش - رواناب برای شبیه‌سازی دبی لحظه‌ای زیرحوضه‌ها برای وقایع مختلف بارش استفاده شد. جدول (۲) مشخصات وقایع سیل‌های اندازه‌گیری و انتخاب شده برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-HMS را نشان می‌دهد.

### سری‌های زمانی به‌کاررفته

اولین اقدام جمع‌آوری و مرتب‌سازی سری‌های زمانی شامل آمار بارش حداکثر ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و خارج از منطقه و دبی سیلاب برای ۶ واقعه سیل در ایستگاه هیدرومتری بارز در خروجی حوضه بود. وقایع سیلاب مورد استفاده در جدول (۲) خلاصه شده است.

جدول ۳. خصوصیات فیزیوگرافیک زیرحوضه‌های آبریز رودخانه خرسان

نام زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	ارتفاع متوسط وزنی (متر)	شیب متوسط وزنی حوضه (درصد)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)
SUB ۱	۳۳۹/۰۱	۱۷۱۰/۶۴	۴۱/۲۵	۴۴/۵۲
SUB ۲	۸۱۲/۵۸	۲۰۶۲/۶۲	۴۵/۷	۷۴/۳۱
SUB ۳	۴۰۰/۸۷	۲۲۰۵/۵۳	۳۹/۴	۵۲/۲۹
SUB ۴	۲۷۴/۸	۲۱۳۸/۶۱	۳۵/۱۷	۴۵/۰۹
SUB ۵	۴۰۳/۱۶	۲۲۳۱	۲۴/۸	۳۳/۵۴
SUB ۶	۱۰۸۳/۱	۲۱۶۶/۳۷	۱۹/۱۶	۲۴/۸۳
SUB ۷	۱۷۵۷/۲۳	۲۴۴۷/۷	۱۴/۲۳	۸۸/۳۵
SUB ۸	۱۷۵۰/۳۱	۲۵۴۱/۹	۲۵/۶۳	۷۹/۱
SUB ۹	۷۵۸/۵۳	۲۱۵۸/۷۹	۳۱/۹۹	۵۷/۴۴
SUB ۱۰	۸۷۲/۹۴	۲۱۹۵/۲۴	۲۶/۲۷	۷۴/۹۷
SUB ۱۱	۱۵۵۱/۳۹	۲۳۴۸/۸	۲۸/۸۲	۱۰۹/۹۸
کل حوضه	۹۰۲۹/۱۲	۲۳۰۳/۴۴	۲۷/۸۹	۲۴۳/۷۴

شده است. جدول (۳) خصوصیات فیزیوگرافیک زیرحوضه‌های آبریز رودخانه خرسان مستخرج از نرم‌افزار Geo HMS را نشان می‌دهد. لازم به توضیح است که دبی سیل اندازه‌گیری شده در ایستگاه آب‌سنجی بارز در شمال شرقی حوضه آبریز برای واسنجی و صحت‌سنجی به کار گرفته شده است.

### نتایج و بحث

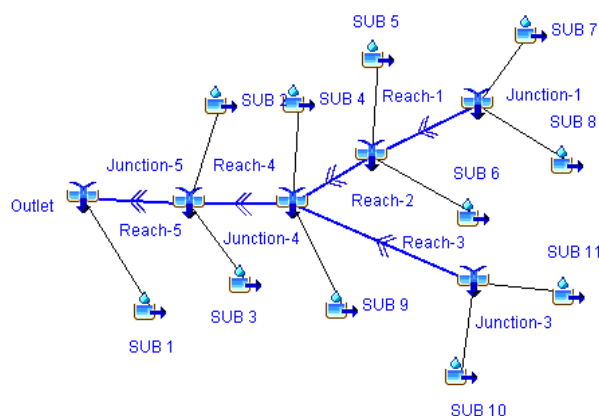
جدول (۴) توزیع‌های آماری برازش داده شده بر روی داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و مقدار میانگین انحراف خطای هر یک از توزیع‌ها را نشان می‌دهد. بدین ترتیب توزیعی که مقدار میانگین انحراف خطای آن کمتر باشد، برازش بهتری با داده‌ها داشته است.

از روی توزیع‌های آماری متناسب با سری داده‌های هر یک از ایستگاه باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه (جدول ۴)، باران با دوره بازگشت‌های ۲، ۵۰ و ۱۰۰ محاسبه گردید. با توجه به ۶ ایستگاه باران‌سنجی مورد بررسی، تعداد ۶ عدد برای هر یک از دوره بازگشت‌ها حاصل شد (جدول ۵).

ضرایب ماسکینگام (K و X) و تلفات اولیه بارش ( $I_a$ ) برای هر یک از زیرحوضه‌ها و آبراهه‌ها با استفاده از الگوریتم جستجوی نلدردید گردید و پس از صحت‌سنجی آن، مدل برای شبیه‌سازی به کار گرفته شد. برای واسنجی فراسنج‌های مدل بارش-رواناب در حوضه آبریز خرسان از میان ۶ واقعه سیل واقعی ۵ سیل انتخاب گردید. ۷۵ درصد داده‌ها برای واسنجی و ۲۵ درصد آنها برای صحت‌سنجی به کار گرفته شد. این سیل‌ها در جدول (۲) خلاصه شده‌اند. برای مقایسه دبی اوج و زمان رسیدن به آن در هیدروگراف واقعی و محاسبه شده، روش مجموع مجذور باقیمانده‌ها، ضریب همبستگی و ریشه میانگین مجموع مربعات خطاها به کار رفت.

### شبیه‌سازی دبی پیک سیلاب زیرحوضه‌ها

پس از تعیین لایه یا اطلاعات ورودی مدل بارش-رواناب و واسنجی و صحت‌سنجی آن، اقدام به شبیه‌سازی دبی سیلاب پیک برای ۶ واقعه بارش مندرج در جدول (۲) گردید. لایه ورودی به دست آمده برای مدل بارش-رواناب در شکل (۲) نشان داده



شکل ۲. استخراج اطلاعات ورودی برای مدل بارش - رواناب HEC-HMS

جدول ۴. توزیع‌های آماری سری‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه مطالعاتی

نام ایستگاه	لوگ نرمال ۲ پارامتری	لوگ نرمال ۳ پارامتری	گامای دو پارامتری	پیرسون ۳ تیپ	لوگ پیرسون ۳ تیپ	گامبل تیپ ۱	توزیع مناسب با داده‌های ایستگاه‌ها
آلونی	۵/۰۴	۳/۴	۶/۲۳	۲/۱۲	۵/۳۲	۶/۱۱	پیرسون تیپ ۳
باغ ملک	۴/۶	۴/۵۱	۴/۹۲	۴/۳	۴/۴	۴/۲۷	پیرسون تیپ ۳
پاتاوه	۳/۷	۳/۶۹	۳/۶۹	۴/۵۲	۳/۶	۳/۷۱	لوگ پیرسون تیپ ۳
حنا	۹/۵۲	۹/۷۳	۶/۰۲	۱۶/۳۸	۶/۷	۵/۹	گامبل تیپ ۱
لردگان	۳/۹۵	۵/۱۲	۳/۶۳	۳/۸۵	۳/۱۹	۳/۷۲	لوگ پیرسون تیپ ۳
یاسوج	۱۳/۷۵	۷/۲۷	۹/۹۴	۱۲/۳۷	۵/۸۳	۶/۹۶	لوگ پیرسون تیپ ۳

اعداد جدول نشان‌دهنده میانگین انحراف خطا می‌باشد

جدول ۵. مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف و توزیع آماری مناسب

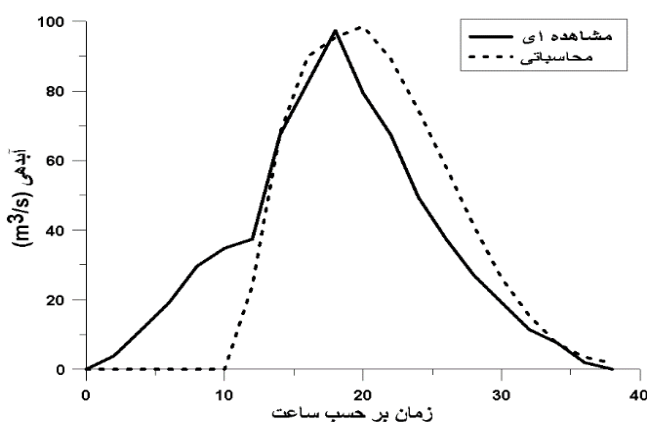
نام ایستگاه باران‌سنجی	توزیع آماری مناسب	۲ ساله (میلی‌متر)	۵ ساله (میلی‌متر)	۱۰ ساله (میلی‌متر)	۲۰ ساله (میلی‌متر)	۵۰ ساله (میلی‌متر)	۱۰۰ ساله (میلی‌متر)
آلونی	پیرسون تیپ ۳	۳۹/۹۳	۵۲/۴۹	۶۲/۰۵	۷۱/۷۴	۸۴/۷۹	۹۴/۸۶
باغ ملک	پیرسون تیپ ۳	۳۸/۵۹	۵۲/۳۵	۶۲/۴۵	۷۲/۵	۸۵/۸۶	۹۶/۰۵
پاتاوه	لوگ پیرسون تیپ ۳	۸۸/۰۵	۱۱۶/۹۹	۱۳۵/۳۳	۱۵۲/۳۹	۱۷۳/۹	۱۸۹/۷۲
حنا	گامبل تیپ ۱	۴۱/۸۳	۶۰/۱۷	۷۲/۳۲	۸۳/۹۷	۹۹/۰۶	۱۱۰/۳۶
لردگان	لوگ پیرسون تیپ ۳	۷۲/۴۷	۹۶/۰۱	۱۱۲/۵	۱۲۹/۰۳	۱۵۱/۵۹	۱۶۹/۴۷
یاسوج	لوگ پیرسون تیپ ۳	۳۶/۷۵	۵۰/۸۶	۶۴/۴۹	۸۱/۶۸	۱۱۱/۷۳	۱۴۱/۸۷

مشاهده و محاسبه شده در مرحله‌ی واسنجی را برای یک واقعه سیل نشان می‌دهند.

وقایع سیلابی و بارش‌های متناظر با آنها در جدول (۶) نشان داده شده است. شکل (۳) به‌طور نمونه مقایسه‌ی هیدروگراف‌های

جدول ۶. وقایع سیلاب و بارش‌های متناظر با آن‌ها برای واسنجی و اعتبار یابی

ایستگاه آب‌سنجی	تاریخ وقوع سیلاب	دبی اوج سیل (مترمکعب بر ثانیه)	متوسط بارش متناظر سیلاب‌ها (میلی‌متر)
ایستگاه آب‌سنجی بارز	۲۸ بهمن ماه ۱۳۶۶	۶۱۴/۲۸	۲۸
	۲۳ دی ماه ۱۳۷۶	۹۷/۴	۱۵/۴
	۹ بهمن ماه ۱۳۷۸	۱۵۰/۸	۱۶
	۱۶ بهمن ماه ۱۳۸۱	۳۲۱/۵	۲۱/۴
	۵ دی ماه ۱۳۸۳	۱۰۸۳/۶	۳۹
	۲۶ آبان ماه ۱۳۸۴	۴۰۳/۷	۲۳



شکل ۳. هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده سیل ۲۳ دی ماه ۱۳۷۶ در مرحله واسنجی

جدول ۷. نتایج آب‌نگار واقعی و شبیه‌سازی شده پس از واسنجی

وقوع سیلاب	$Q_p$ $m^3/s$	$Q_p$ $m^3/s$	$R^2$	SSR	RMSE
۲۳ دی ماه ۱۳۷۶	۹۷/۴	۹۸/۶	۰/۹۱۳	۰	۱۵/۸۳
۹ بهمن ماه ۱۳۷۸	۱۵۰/۸	۱۵۹/۷	۰/۸۵۷	۳۱/۶	۲۹/۸۶
۱۶ بهمن ماه ۱۳۸۱	۳۲۱/۵	۳۱۲/۹	۰/۷۱۶	۰	۸۰/۲۹
۲۶ بهمن ماه ۱۳۸۴	۴۰۳/۷	۴۱۸/۸	۰/۹۳۵	۰	۶۳/۸۲
۵ دی ماه ۱۳۸۳	۱۰۸۳/۶	۱۱۹۷/۷	۰/۹۲۴	۱۴۸/۶	۱۸۴/۸۸

فراسنج‌های و ماسکینگام را نشان می‌دهند. به منظور اعتبار سنجی مدل پس از واسنجی، یک رویداد از ۶ رویداد که در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار نگرفته بود، انتخاب شد. این رویداد شامل سیل ۲۸ بهمن ماه ۱۳۶۶ بود (شکل ۹). متوسط فراسنج‌های به دست آمده از الگوریتم Nelder-Mead در مرحله

همچنین جدول (۷)، نتایج هیدروگراف مشاهده و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی و میزان خطای مدل شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از دقت بالای مدل می‌باشد. جدول (۸) متوسط مقادیر واسنجی شده شماره منحنی و تلفات اولیه و جدول (۹) نتایج متوسط مقادیر واسنجی

جدول ۸. متوسط شماره منحنی و تلفات اولیه

فراسنج‌های واسنجی ورودی		
تلفات اولیه (Ia) (میلی متر)	شماره منحنی	زیرحوضه
۴/۱۹	۷۰/۲۸	SUB ۱
۳/۴۳	۶۷/۱۶	SUB ۲
۹/۷۵	۶۳/۴۵	SUB ۳
۳/۲۲	۷۵/۸۸	SUB ۴
۸/۶۲	۶۸/۷۷	SUB ۵
۴/۴۴	۵۱/۵	SUB ۶
۵/۲۴	۶۹/۸۹	SUB ۷
۶/۴۶	۶۳/۴۹	SUB ۸
۷/۷۵	۷۷/۱	SUB ۹
۵/۹۱	۷۱/۶۹	SUB ۱۰
۱۲/۶	۶۶/۵۶	SUB ۱۱

جدول ۹. متوسط ضرایب ماسکینگام

X	K (ساعت)	نام بازه رودخانه
۰/۴	۱/۲۲	Reach-۱
۰/۳۶	۱/۲۹	Reach-۲
۰/۳۲	۰/۹۸	Reach-۳
۰/۳	۰/۹	Reach-۴
۰/۲۴	۱/۵۹	Reach-۵

جدول ۱۰. مقایسه نتایج هیدروگراف مشاهد و محاسبه شده در مرحله اعتبارسنجی

مورد	۲۸ بهمن ماه ۱۳۶۶
مشاهده $Q_p$	$614/28 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_p$ شبیه‌سازی	$660/1 \text{ m}^3/\text{s}$
$R^2$	۰/۶۴۴
درصد خطا	۶/۹۴
RMSE	۱۴/۳۲

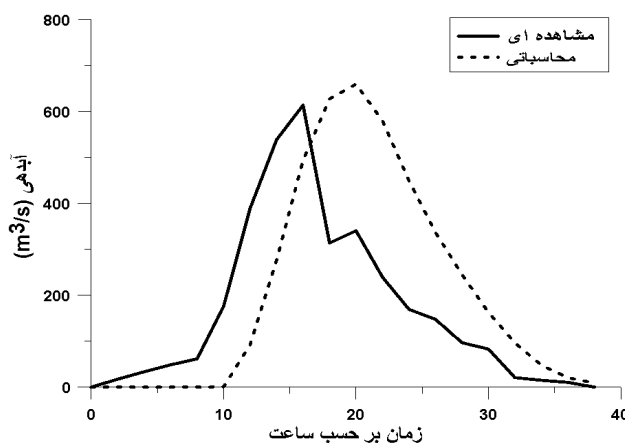
نمونه در جدول (۱۱) ارائه شده است. براساس این جدول درصد مشارکت زیر حوضه‌ها در سیل‌خیزی کل حوضه از نقطه نظر مساحت و دبی زیرحوضه‌ها با هم متفاوت می‌باشد.

واسنجی به مدل داده شد که نتایج اعتبارسنجی مدل بارش - رواناب در جدول (۱۰) ارائه شده است. جزئیات اولویت‌بندی برای دوره بازگشت ۵۰ سال به‌طور



جدول ۱۱. اولویت‌بندی سبیل خیزی زیرحوضه‌ها بر اساس دوره بازگشت ۵۰ ساله

اولویت‌بندی بر اساس شاخص F	اولویت‌بندی بر اساس شاخص F	اولویت‌بندی بر اساس شاخص F	اولویت‌بندی بر اساس مساحت زیرحوضه‌ها	شاخص گ، بر حسب مترمکب بر ثانیه در هر کیلومتر مربع، $f = \Delta Q_p / A$	شاخص آ، بر حسب درصد $F = 100(\Delta Q_p / Q_p)$	اثر حذف زیرحوضه در مقدار کاهش در دبی خروجی	دبی خروجی کل حوضه (۱۰ زیرحوضه) با حذف هر یک از زیرحوضه‌ها (مترمکب بر ثانیه) $(Q_p)$	دبی خروجی کل حوضه (۱۰ زیرحوضه) با حذف هر یک از زیرحوضه‌ها (مترمکب بر ثانیه) $(Q_p)$	دبی خروجی کل حوضه (۱۰ زیرحوضه) با حذف هر یک از زیرحوضه‌ها (مترمکب بر ثانیه) $(Q_p)$	دبی خروجی کل حوضه (۱۰ زیرحوضه) با حذف هر یک از زیرحوضه‌ها (مترمکب بر ثانیه) $(Q_p)$	مساحت هر یک از زیرحوضه‌ها (کیلومتر مربع)	نام زیر حوضه	ردیف
۱۱	۱۰	۹	۹	۰/۳۱	۱/۵۹	۱۰۳/۵	۶۲۸۹/۶	۶۲۸۹/۶	۶۲۹/۵	۳۳۹/۰۱	SUB ۱	۱	
۷	۶	۵	۵	۰/۵۹	۷/۳۴	۳۷۶/۹	۶۰۱۶/۲	۶۰۱۶/۲	۱۱۰۸/۲	۸۱۲/۵۸	SUB ۲	۲	
۱۰	۹	۸	۸	۰/۴۵	۲/۷۶	۱۷۹/۵	۶۳۱۳/۶	۶۳۱۳/۶	۴۴۴	۴۰۰/۸۷	SUB ۳	۳	
۴	۸	۱۰	۱۰	۰/۶۹	۲/۹۴	۱۹۰/۷	۶۳۰۲/۴	۶۳۰۲/۴	۶۴۷/۶	۲۷۴/۸	SUB ۴	۴	
۶	۷	۷	۷	۰/۶۳	۳/۹۲	۲۵۲/۳	۶۲۳۸/۸	۶۲۳۸/۸	۷۷۵/۹	۴۰۳/۱۶	SUB ۵	۵	
۹	۱۱	۱۱	۱۱	۰/۴۷	۰/۷۹	۵۱/۴	۶۴۴۱/۹	۶۴۴۱/۹	۱۲۵	۱۰۸/۳۱	SUB ۶	۶	
۲	۱	۱	۱	۰/۸۶	۲۳/۳۲	۱۵۱۴/۲	۴۹۷۸/۹	۴۹۷۸/۹	۲۱۵۸۷	۱۷۵۷/۳۳	SUB ۷	۷	
۸	۳	۲	۲	۰/۵۵	۱۴/۹	۹۱۶/۳	۵۵۲۵/۸	۵۵۲۵/۸	۱۵۰۲/۷	۱۷۵۰/۳۱	SUB ۸	۸	
۳	۵	۶	۶	۰/۷۷	۸/۹۷	۵۸۷/۲	۵۹۱۰/۹	۵۹۱۰/۹	۱۴۳۱/۴	۷۵۸/۵۳	SUB ۹	۹	
۱	۴	۴	۴	۱/۰۳	۱۳/۷۸	۸۹۲/۵	۵۵۹۸/۶	۵۵۹۸/۶	۱۱۰۹/۹	۸۷۲/۹۴	SUB ۱۰	۱۰	
۵	۲	۳	۳	۰/۶۵	۱۵/۴۷	۱۰۰۴/۲	۵۲۸۸/۹	۵۲۸۸/۹	۱۱۶۲/۳	۱۵۵۱/۳۹	SUB ۱۱	۱۱	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	۶۴۹۳/۱	۹۰۲۹/۱۱۷	کل حوضه	۱۲	



شکل ۴. نمودار هیدروگراف مشاهده و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتباریابی (سیل ۲۸ بهمن ماه ۱۳۶۶)

در سیل خروجی کل حوضه تأثیر بیشتری ندارد. با توجه به اینکه اثرات متقابل روندیابی سیل در رودخانه، موقعیت مکانی خصوصیات زیرحوضه، در نظر گرفتن همزمانی دبی اوج زیرحوضه‌ها در تعیین سهم مشارکت در دبی اوج خروجی کل حوضه مؤثر است. این اثرات بدون شبیه‌سازی توسط مدل و تنها بر مبنای عواملی مانند مساحت قابل تعیین نمی‌باشند.

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در سیل خروجی حوضه در دوره‌های بازگشت ۲، ۵۰ و ۱۰۰ سال اندکی تغییر می‌کند. دلیل این تغییرات را می‌توان تفاوت در بارندگی و همچنین تلفات هر یک از زیرحوضه‌ها به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف دانست. علاوه‌براین روندیابی رودها نیز بی‌تأثیر نبوده است.

### پیشنهادات

با توجه به تأثیر بیشتر حوضه‌های میانی در سیل‌خیزی کل حوضه، پیشنهاد می‌شود که عملیات کنترل سیلاب در زیرحوضه‌های میانی متمرکز شود و اولویت با این زیرحوضه‌ها باشد. سیلابی بودن هر یک از زیرحوضه‌ها در محل خود توجیه مناسبی جهت انتخاب آن به‌منظور انجام هرگونه عملیات اصلاحی محسوب نمی‌شود. بنابراین روش پیشنهادی این تحقیق با توجه به دلایل محکم و مبنایی روشن و در نظر گرفتن کلیه عوامل دخیل در سطح زیرحوضه و نیز تفکیک اهمیت و نوع

طبق جدول (۱۲)، دلیل تغییرات دبی زیرحوضه‌ها را می‌توان به میزان بارش به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف، تلفات و یا اثراتی که روندیابی رودخانه‌ها بر روی کاهش و یا افزایش دبی رودخانه‌ها داشته‌اند، دانست. به‌طورکلی به‌ازای دوره بازگشت ۲ سال، سیل خیزترین زیرحوضه‌ها به‌ترتیب زیرحوضه‌های ۱۰، ۴، ۷، ۹، ۲، ۵، ۸، ۶، ۳، ۱۱ و یک، به‌ازای دوره بازگشت ۵۰ سال، زیرحوضه‌های ۱۰، ۷، ۹، ۴، ۱۱، ۵، ۲، ۸، ۶، ۳ و یک و به‌ازای دوره بازگشت ۱۰۰ سال زیرحوضه‌های ۱۰، ۷، ۹، ۱۱، ۴، ۵، ۲، ۸، ۶، ۳ و یک سیل‌خیزترین زیرحوضه‌ها می‌باشند.

### نتیجه‌گیری

با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های هیدرولوژیکی می‌توان اثر متقابل عوامل فیزیوگرافیک و اقلیمی را بر پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز مورد بررسی قرار داد و با در نظر گرفتن هم‌زمانی دبی اوج زیرحوضه‌ها و نقش روندیابی سیل در رودخانه‌ها، اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها را به‌نحوی انجام داد.

زمانی که میزان تأثیر دبی زیرحوضه‌ها پس از حذف در 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 می‌تواند نقش مهمی داشته باشد. بنابراین لزوماً زیرحوضه‌ای که مساحت بزرگ‌تر و یا دبی بیشتری داشته باشد،

تأثیرگذاری (کاهش یا افزایش) عوامل مؤثر در مطالعات کنترل سیلاب قویاً توصیه می‌گردد. اقدامات موضعی برای مقابله با خسارت سیل را باید در برنامه‌ای عمومی و جامعی ادغام کرد که سراسر حوضه آبریز رودخانه، رژیم سیلابی، مراکز سیل‌گیر و پیا مد های انواع اقدامات را مدنظر قرار می‌دهد. در غیر این صورت با این اقدامات موضعی فقط مشکل سیلاب را از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل کرده و کاهش سیلاب در یک نقطه باعث افزایش سیلاب در نقطه دیگر می‌شود.

## منابع مورد استفاده

1. احمدزاده، ح.، ر. سعید آبادی و ا. نوری. ۱۳۹۴. بررسی و پهنه بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تأکید بر سیلاب‌های شهری (مطالعه موردی: شهر ماکو)، هیدروژئومورفولوژی ۲: ۲۳-۱.
2. افتخاری، ع.، ط. صادق‌لو، ع. احمدآبادی و ح. سجاسی قیداری. ۱۳۸۸. ارزیابی پهنه‌بندی روستاهای در معرض خطر سیلاب با استفاده از مدل Hec-Geo Ras در محیط GIS (مطالعه موردی حوزه گرگان‌رود)، توسعه روستایی ۱: ۱۸۲-۱۵۷.
3. اولاد غفاری، ا.، ا. فاخری فرد، ا. ح. ناظمی و م. ع. قربانی. ۱۳۸۹. روندیابی هیدرولیکی سیلاب به روش موج دینامیکو مقایسه با روندیابی هیدرولوژیکی ماسکینگام خطی و غیرخطی (مطالعه موردی: ليقوان چای)، دانش آب و خاک ۱(۳): ۶۰-۴۷.
4. بی‌نام. ۱۳۸۰. راهنمای مهار سیلاب رودخانه (روش‌های سازه‌ای)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۴۶ ص.
5. رفیعی ساردویی، ا.، ش. خلیقی سیکارودی، ع. آذره و م. رستمی خلج. ۱۳۹۴. کاربرد مدل HEC-HMS در اولویت‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز بالادست سد کرم، علوم و مهندسی آبخیزداری ۹(۲۸): ۵۶-۵۳.
6. طهماسبی‌پور، ن. ۱۳۸۶. منطقه‌ای کردن برآورد سیل در تعدادی از زیرحوضه‌های کرخه با استفاده از چولگی تعمیم‌یافته، مجله پژوهش و سازندگی ۷۴: ۱۰-۲.
7. میرناصری، م و ر. فضل اولی. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی سیلاب با تلفیق نرم‌افزارهای HEC-RAS و GIS (مطالعه موردی: بخشی از رودخانه چالوس). نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز ۳ تا ۵ بهمن ۱۳۹۱.
8. نظری، ن.، م. افلاطونی. ۱۳۹۱. تأثیر روندیابی جریان رودخانه خرسان و سهم مشارکت واحدهای هیدرولوژیک در سیلاب کل حوضه‌های آبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و فناوری‌های نوین، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز.

9. Chow, V. T., D. R. Maidment and L. W. Mays. 1956. Applied Hydrology. PP: 122-126. In: Mc Graw-Hill International Editions, Civil Engineering Series.
10. Choudhari, K., B. Panigrahi and J. C. Paul. 2014. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India, J. Geomatics and Geosciences 5(2): 253-266.
11. Heghedus, P., S. Czigany, L. Balatonyi and E. Pirkhoffer. 2013. Sensitivity of the HEC-HMS runoff model for earsurface soil moisture contents on the example of a rapid- response catchment in SW Hungary, J. Riscuri Si Catastrofe 12(1):125-137.
12. Kumar, D and R. K. Bhattacharjya. 2011. Distributed Rainfall Runoff Modeling, J. Earth Sci. and Eng. 4(6): 270-275.
13. Noman N. S., E. J. Nelson and K. A. Zundel. 2001. Review of Automated Floodplain Delineation from Digital Terrain models. J. Water Resources Planning and Management. 6: 394-402.
14. Parker, D. J. 2002. Floods. PP: 22-23. In: London and New York Ltd.
15. Smith, P. 1997. Hydrologic data development system. J. Transportation Res. Board 5(4): 118-127.
16. Ward, R. C. 1978. Floods- A Geographical Perspective. PP: 55-58. In: London, Macmillan Press Ltd.

## Determination of Sub-Basins Flow Contribution to Total Flood in Khersan River Basin

N. Tavanpour<sup>1\*</sup>, M. Aflatooni<sup>2</sup> and N. Nazari<sup>2</sup>

(Received: Feb. 2-2016 ; Accepted: June 11-2016)

DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.77

### Abstract

This research is aimed to determine the contribution of sub-basins flow to total watershed flood in Khersan river basin located in Kohkilooyeh and Boyer Ahmad province. To do this, the rainfall-runoff model HEC-HMS was used to simulate peak runoff values for 11 sub-basins. HEC-HMS input was constructed using GIS. The results suggest that the change in different return periods is accompanied by small change in prioritization of flood-potential of the sub-basins; so that for return periods of 2, 50 and 100 years, the most contributions came from sub-basins 1 through 11, respectively. With respect to area and flow rate, contribution of sub-basins to watershed total flow was different. The effect of area was between 0.31 to 1.03 percent; namely, sub-basin 6 showed the highest rank and basin 7 showed the lowest one. With respect to peak flow rate, the effect of individual exclusion of sub-basins, resulted in contribution between 51.2 to 1004.2 m<sup>3</sup>/s, that is, sub-basin 6 showed the lowest effect and the sub basin 11 showed the highest contribution.

**Keywords:** flood potential; geographic information system; Khersan river basin; rainfall-runoff model

---

1. Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Shiraz Univ., Shiraz, Iran.

2. Dept. of Water Sci. College of Sci., Agric. and Innovative Tech., Islamic Azad Univ., Shiraz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: nima.tavanpour@gmail.com