

جغرافیا و توسعه شماره ۵۳ زمستان ۱۳۹۷
وصول مقاله: ۹۵/۰۹/۲۸
تأیید نهایی: ۹۷/۰۶/۲۴
صفحات: ۶۹-۸۴

اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک مطالعه موردی: حوضه آبریز پل شاه

بهاره اعظمی بابانی^۱، دکتر مهدی مومی‌پور^{۲*}، دکتر آرش آذری^۳

چکیده

تعیین پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، یکی از مهم‌ترین اقدامات در مطالعات آمایش سرزمین محسوب می‌شود. در تحقیق حاضر اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها در آبخیز پل‌شاه در استان کرمانشاه انجام شد. بدین منظور ابتدا داده‌ها و لایه‌های مختلف از قبیل کاربری اراضی، اقلیم و هیدروگراف سیلاب و بارش متناظر منطقه مطالعاتی تهیه شد. سپس با کنترل داده‌های متناظر بارش و سیلاب، دو رویداد در مرحله واسنجی (۱۳۹۱/۰۸/۲۲ و ۱۳۹۱/۰۹/۰۶) و یک رویداد در مرحله اعتبارسنجی (۹۲/۱۲/۲۰) به کار گرفته شدند. به منظور شبیه‌سازی بارش-رواناب از روش SCS و برای تعیین تلفات اولیه از روش شماره منحنی از نرم‌افزار HEC-HMS استفاده شد. ارزیابی مدل با ضریب ناش-ساتکلیف انجام شد. همچنین به منظور تعیین بارش طرح، از توزیع‌های آماری در نرم‌افزار SMADA در دوره آماری ۱۳۷۷-۱۳۹۴ استفاده شد. نتایج نشان داد، ضریب کارایی مدل بعد از واسنجی برای هر دو رویداد مثبت بوده و به ۰/۸۷۲ و ۰/۱۷۳ ارتقاء یافته‌اند. همچنین درصد خطای دبی اوج نیز صفر شد. در مرحله اعتبارسنجی براساس میانگین مقادیر اصلاح‌شده شماره منحنی و تلفات اولیه نیز، ضریب کارایی برابر با ۰/۳۳۶ و خطای دبی اوج، ۸ درصد شد که دقت و صحت مدل‌سازی به اثبات رسید. در بررسی پتانسیل سیل‌خیزی مشخص شد که بارش طرح با مقدار ۹۳ میلی‌متر قادر است سیلابی با دبی اوج $200 \text{ m}^3/\text{s}$ در خروجی حوضه ایجاد کند. با بررسی سهم مشارکت زیرحوضه‌ها مشخص شد که زیرحوضه‌های خروجی به دلیل وضعیت زمین‌شناسی و پوشش، پتانسیل سیل‌خیزی بیشتری داشته و زیرحوضه‌های بالادست سیل‌خیزی کمتری دارند. واژه‌های کلیدی: پتانسیل سیل‌خیزی، HEC-HMS، تلفات اولیه، شماره منحنی، حوضه آبخیز پل‌شاه.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران b.azami@kmsu.ac.ir
۲- استادیار ژئومورفولوژی، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران* mumipur@kmsu.ac.ir
۳- استادیار مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران a.azari@razi.ac.ir

مقدمه

در اکثر مناطق ایران، تأثیرپذیری نحوه بارش و توزیع آن از ویژگی‌های اقلیم، سبب ایجاد سیلاب‌های فصلی و صدمات و خسارات جبران‌ناپذیر شده است (علیزاده، ۱۳۷۸: ۳۲۰). به دلیل وسعت زیاد حوضه‌های آبخیز و محدودیت‌های اقتصادی و اجرایی، احیاء آبخیزها از دیدگاه اقدامات آبخیزداری در یک پروژه واحد تنها عملی نیست. انتخاب اولویت‌ها برای اجرای این قبیل پروژه‌ها، یک تصمیم‌گیری مدیریتی است که باید با مطالعه شرایط فیزیکی، اجتماعی-اقتصادی منطقه و برآورد تأثیرات حاصل از انجام برنامه‌ها انجام شود (تفقیان و فرازجو، ۱۳۸۶: ۲؛ دارابی و همکاران ۱۳۹۱: ۱۳). شرایط طبیعی حاکم بر حوضه، مسائل اقتصادی-اجتماعی و همچنین محدودیت‌های فنی و مالی ما را مجبور می‌کند که در هر حوضه آبخیز عملیات اجرایی در یک یا بخش کوچکی از حوضه انجام گیرد؛ به همین دلیل مهم‌ترین دغدغه مهندسان مرتبط و کارشناسان اجرایی، انتخاب زیرحوضه مناسب برای انجام و شروع کار و عملیات آبخیزداری است. اولویت‌بندی عموماً بر پایه معیارهای انتخابی و یا تنها براساس یک هدف موردنظر در آبخیزداری مانند سیل‌خیزی، فرسایش خاک و نظایر آن صورت می‌گیرد. محققان زیادی به اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبخیز پرداختند.

بهرامی و همکاران (۱۳۹۰: ۲۸) در تحقیقی نقش روندیابی سیل در تفکیک و شناسایی مناطق سیل‌خیز در حوضه آبخیز سد بوستان استان گلستان را مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها با استفاده از GIS و با بهره‌گیری از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و کاربرد نتایج نشان دادند که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی متناسب با دبی اوج زیرحوضه‌ها نبوده و لزوماً زیرحوضه‌هایی که دبی بیشتری دارند، بیشترین مشارکت را در سیل خروجی حوضه ندارند. نوری و

همکاران (۱۳۹۱: ۵۲) با انتخاب ۵ هایتوگراف بارش و هیدروگراف‌های متناظر با آن‌ها و با استفاده از زیرمدل HEC-HMS و روش‌های سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و اشنایدر، هیدروگراف سیل حوضه آبخیز قروه را شبیه‌سازی کرده و نتیجه گرفتند که در مرحله صحت‌سنجی روش SCS در شبیه‌سازی دبی اوج هیدروگراف با داده‌های مشاهداتی تطابق بهتری دارد. سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۱: ۷۷) در تحقیقی در حوضه سد جیرفت به منظور مکان‌یابی مناطق حساس به سیل‌خیزی، با استفاده از مدل بارش-رواناب HEC-HMS و فن‌های GIS و RS نشان دادند که مقادیر استخراج‌شده با استفاده از شاخص f با مقادیر شماره منحنی ضریب همبستگی بالایی دارند و با تغییر شماره منحنی مقدار شاخص نیز به صورت خطی تغییر می‌کند. رزمجویی و همکاران (۱۳۹۲: ۷) به ارزیابی کارایی روش شماره منحنی و روش استدلالی در برآورد دبی اوج سیل در حوزه آبخیز وردیج پرداختند. برای مقایسه مقدار کارایی دو روش یادشده، مقدار دبی اوج مشاهداتی به عنوان مبنا در نظر گرفته شده و مقادیر میانگین مربعات خطا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده است. نتایج نشان داد که روش شماره منحنی، دبی اوج را با دقت بالاتری برآورد می‌کند.

حسینی و حجازی‌زاده (۱۳۹۴: ۱۰) در مطالعه‌ای در حوضه آبخیز طالقان در استان البرز به منظور اولویت‌بندی مناطق مؤثر بر دبی اوج سیلاب با استفاده از GIS نقشه‌های مشخصات فیزیکی حوزه آبخیز طالقان را تهیه کردند. در نتیجه چهار واقعه سیل از آمار موجود استخراج و مورد واسنجی در مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS قرار گرفت. به منظور واسنجی از روش SCS برای شبیه‌سازی آب‌نگار سیلاب و برای روندیابی در آبراهه‌ها از روش Lag time استفاده شد.

رفیعی ساردویی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در حوضه آبخیز بالادست سد کرج با تکرار حذف انفرادی زیرحوضه‌ها به تعیین میزان مشارکت آن‌ها در سیل خروجی این حوضه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که زیرحوضه تکیه سپهسالار بیشترین و زیرحوضه ولایت‌رود کمترین سهم را در پتانسیل سیل‌خیزی دارد. از مطالعات خارج از کشور می‌توان به جاود و همکاران^۱ (۲۰۰۹: ۲۷۱)، میشر و همکاران^۲ (۲۰۱۰: ۵۰۸)، عبدالرحمن و همکاران^۳ (۲۰۱۵: ۱۳۲۷)، جایزوال و همکاران^۴ (۲۰۱۵: ۱۵۵۸) و سیندهو و همکاران^۵ (۲۰۱۵: ۱۴۲۶) اشاره کرد؛ بنابراین هدف از تحقیق حاضر، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در حوزه آبخیز پل‌شاه است. دستیابی به این هدف می‌تواند مبنایی برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز به‌منظور اجرای پروژه‌های مرتبط باشد و از صرف هزینه‌های زیاد در مناطق غیرضروری جلوگیری کند.

داده‌ها و روش‌ها

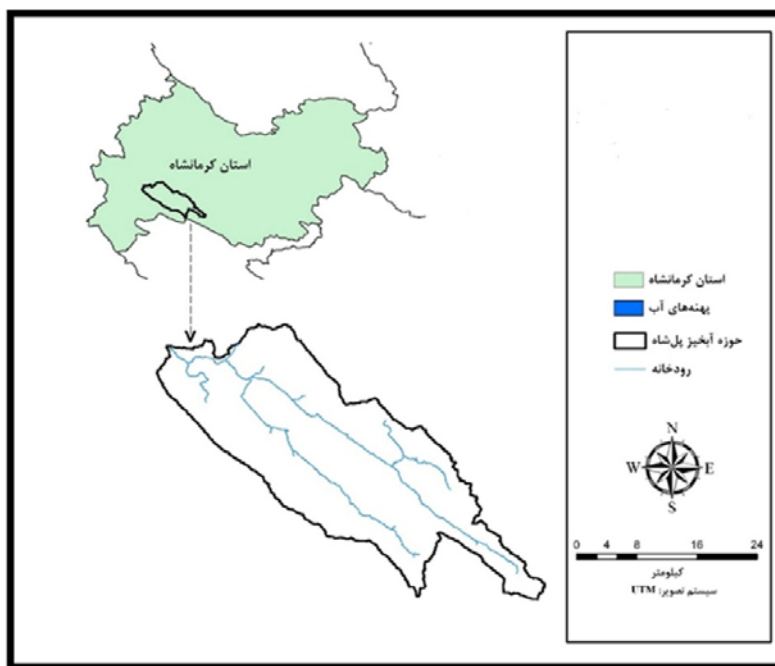
حوضه آبخیز پل‌شاه یکی از زیرحوضه‌های حوضه الوند است که از نظر تقسیم‌بندی سیاسی در محدوده استان کرمانشاه (شهرستان‌های اسلام‌آباد، گیلان غرب و سرپل ذهاب) واقع شده است. این حوضه با مساحت ۷۵۸۸۳ هکتار در مختصات جغرافیایی ۳۴° ۱۹' ۵۷" - ۳۳° ۵۹' ۵۶" عرض شمالی و ۴۶° ۲۸' ۳۶" - ۴۸° ۴۵' ۴۸" طول شرقی واقع شده است (شکل ۱).

نتایج این پژوهش نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه تنها تحت‌تأثیر مساحت و دبی اوج زیرحوضه‌ها نیست و عواملی مانند شماره منحنی و گروه هیدرولوژیک خاک نقش قابل توجهی در سیل‌خیزی دارند.

بدری و همکاران (۱۳۹۵: ۱۴۳) اولویت‌بندی مکانی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS را انجام دادند. در این تحقیق از روش شماره منحنی برای برآورد تلفات بارش، از روش SCS برای شبیه‌سازی تبدیل بارش رواناب در سطح زیرحوضه‌ها و از روش ماسکینگام برای روندیابی هیدروگراف سیل خروجی حوضه استفاده شد. سپس با روش حذف متوالی، میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی اوج خروجی حوضه تعیین شد و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر دبی اوج سیل و کاهش دبی به‌ازای واحد سطح صورت گرفت.

کمالی و همکاران (۱۳۹۴) از مدل HEC-HMS برای اولویت‌بندی مناطق مولد سیل در حوضه آبخیز باراجین شهر قزوین استفاده کردند و نشان دادند که نوع کاربری اراضی، نوع واحدهای هیدرولوژیکی خاک و بالابودن میانگین وزنی CN حاکی از خطر بالای تولید سیل در حوضه است. همچنین، بیان کردند زیرحوضه‌های شیب‌دارتر در این منطقه با داشتن کاربری اراضی نامناسب اولویت اول را در کنترل سیل دارند.

1-Javed et al
2-Mishra et al
3-Abdul Rahaman et al
4-Jaiswal et al
5-Sindhu et al



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان کرمانشاه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

روش انجام تحقیق

تجزیه هیدروگراف استفاده شد (مهدوی، ۱۳۸۱: ۱۲۸). محاسبات روندیابی سیل شامل تعیین هیدروگراف‌های عمق و دبی در نقاط مختلف در طول رودخانه براساس شرایط مرزی و آغازین جریان است. در این تحقیق از روش Lag یا زمان تأخیر در نرم‌افزار HEC-HMS استفاده شد. کارایی این روش در پژوهش‌های مشابه قبلی تأیید شده است؛ بنابراین در این مطالعه نیز از روش زمان تأخیر استفاده شد. همچنین در تحقیق حاضر روش هایتوگراف ویژه به‌عنوان مدل هواشناسی تعریف شد. کارایی روش هایتوگراف ویژه نیز در مطالعات قبلی تأیید شده است؛ از این رو شبیه‌سازی براساس هایتوگراف بارش ایستگاه باران‌سنجی پل‌شاه انجام شد. تاریخ‌های ورودی برحسب ساعت برای هر یک از رویدادها انتخاب شد. سری زمانی بارش-رواناب شامل دو مؤلفه بود؛ مؤلفه اول مربوط به سری زمانی داده‌های بارش است که در امان مربوط به آن، داده‌های بارش ایستگاه باران‌سنجی پل‌شاه مشخص

به‌منظور مدل‌سازی، ابتدا وقایع بارش و رواناب متناظر از ایستگاه‌های باران‌سنج و هیدرومتری در داخل حوضه آبخیز مورد مطالعه انتخاب شد، سپس اقدام به مدل‌سازی شد. شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز در HEC-HMS توسط چهار مؤلفه اساسی به‌نام مدل حوضه، مدل هواشناسی، مشخصه‌های کنترل و سری‌های زمانی انجام گرفت. محاسبات مربوط به میزان تلفات در حوضه، تبدیل بارش مازاد به رواناب، مقدار جریان پایه و شبیه‌سازی جریان در کانال و مخازن و روندیابی آن‌ها در مدل حوضه انجام پذیرفت و مدل حوضه از ۹ زیرحوضه تشکیل شد. در این تحقیق برای محاسبه پارامتر تلفات اولیه حوضه که در حالت پیش‌فرض برابر با ۰/۲ ضریب نگهداشت (S) در نظر گرفته می‌شود، از روش نفوذ شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) استفاده شد. به‌منظور جداسازی آب پایه از دبی سیل از روش اول

سایر پارامترها ثابت فرض می‌شوند (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۸۰). طبق رابطه ۱ مقدار این ضریب از منفی بی‌نهایت تا یک در تغییر است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، مدل دقیق‌تر است.

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O - E)^2}{\sum_{i=1}^n (O - M)^2} \right] \quad \text{رابطه ۱:}$$

در این رابطه O دبی مشاهده‌ای، E دبی برآوردی، M متوسط مقادیر مشاهده‌ای و N تعداد داده‌هاست.

اعتبارسنجی مدل HEC-HMS

پس از واسنجی رویدادهای ۱۳۹۱/۰۸/۲۲ و ۱۳۹۱/۰۹/۰۶، مقادیر بهینه پارامترهای مدل بارش-رواناب شامل تلفات اولیه و شماره منحنی در آزمون اعتبارسنجی به کار گرفته شدند. برای این کار مقادیر بهینه پارامترهای سیل‌های مذکور استخراج شدند. سپس این مقادیر بهینه در جهت ارزیابی کارایی بر روی رویداد ۱۳۹۲/۱۲/۲۰ اجرا شد و نتایج به دست آمده با سیل مشاهده‌ای تاریخ مربوط مقایسه شد. در صورتی که مقادیر بهینه پارامترها اعتبار مدل را تأیید کنند، مرحله بعد به اجرا در خواهد آمد و در صورت عدم تأیید بایستی مقادیر مجدداً با رویدادی دیگر بهینه شوند.

محاسبه بارش طرح

به منظور شناخت بیشتر از خصوصیات سیل خیزی حوضه آبخیز پل شاه، شبیه‌سازی سیل برای بارش طرح (بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰ سال) انجام شد. بدین صورت که ابتدا مقادیر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه باران‌سنجی پل شاه برای هر یک از سال‌ها از دوره آماری ۱۸ ساله (۱۳۹۴-۱۳۷۷) استخراج شد. سپس این مقادیر وارد نرم‌افزار آماری SMADA شدند. در این مرحله با توجه به رابطه احتمالاتی ویبول انواع توزیع‌های آماری برازش داده

شدند. مؤلفه دوم مربوط به هیدروگراف سیل مشاهده‌ای است که در المان مربوط به آن، داده‌های ثبت شده هیدروگراف سیل برای ایستگاه هیدرومتری پل شاه بر روی رودخانه دیره در خروجی حوضه، در فواصل زمانی یک‌ساعته وارد مدل شد.

واسنجی مدل HEC-HMS

در این تحقیق رویدادهای ۱۳۹۱/۰۸/۲۲ و ۱۳۹۱/۰۹/۰۶ که داده‌های مربوط به بارش آن از ایستگاه باران‌سنجی پل شاه در خروجی حوضه ثبت شده بود، به عنوان رویدادهای مرحله واسنجی انتخاب شدند. سیل مشاهده‌ای متناظر این رویدادها نیز از ایستگاه هیدرومتری پل شاه بر روی رودخانه دیره در خروجی حوضه برای واسنجی انتخاب شد. روش کار بدین صورت بود که پس از ورود پارامترهای حوضه آبخیز و انتخاب مدل‌های مربوط در نرم‌افزار HEC-HMS، سیل موردنظر شبیه‌سازی شد. با توجه به اینکه معمولاً سیل شبیه‌سازی شده با سیل مشاهده‌ای اختلاف زیادی دارد، اقدام به واسنجی سیل شبیه‌سازی شد. بدین صورت که با تعریف پارامترهای تلفات اولیه (۰/۲S)، شماره منحنی و زمان تأخیر در محدوده مجاز، واسنجی پارامترها برای هر زیرحوضه به گونه‌ای بهینه شد تا در نهایت سیل شبیه‌سازی شده کمترین اختلاف را با سیل مشاهده‌ای داشته باشد. لازم به ذکر است در این تحقیق درصد خطای دبی اوج به عنوان تابع هدف واسنجی انتخاب شد. به منظور دستیابی به مقادیر بهینه پارامترها، از روش‌های جستجو نلدر و مید استفاده شد. همچنین برای ارزیابی بهینه‌سازی نیز از ضریب ناش-ساتکلیف^۱ (ضریب کارایی مدل) استفاده شد؛ زیرا در این روش تمام پارامترهای مدل همزمان ارزیابی و تصحیح می‌شوند، اما در روش جستجوی شیب تک‌متغیره در هر زمان، فقط یک پارامتر ارزیابی و تصحیح می‌شود و

دبی خروجی کل حوضه برحسب مترمکعب بر ثانیه، f سهم مشارکت زیرحوضه در دبی خروجی کل حوضه به ازای واحد سطح و A مساحت زیرحوضه (کیلومتر مربع) است.

نتایج و بحث

- ساختار مدل

در ابتدا ۹ زیرحوضه تعریف شده، به وسیله ۴ بازه و ۵ اتصال به هم ارتباط داده شده‌اند (جدول ۱). مطابق با روش کار، مقادیر CN براساس لایه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک در محیط GIS تهیه شد. به منظور اصلاح پارامترهای تلفات اولیه و شماره منحنی مربوط به مدل حوضه در نرم‌افزار HEC-HMS، رویدادهای ۱۳۹۱/۰۸/۲۲ و ۱۳۹۱/۰۹/۰۶ واسنجی شدند.

جدول ۱: تعداد اِلمان‌های تعریف شده مدل HEC-HMS

در حوزه آبخیز پل شاه

ردیف	زیرحوضه	بازه	اتصالات
۱	۹	۴	۵

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

- واسنجی مدل HEC-HMS

جدول ۲ مقادیر بارش رویدادهای ۱۳۹۱/۰۸/۲۲ و ۱۳۹۱/۰۹/۰۶ را نشان می‌دهد. مقادیر بارندگی برای رویداد اول برابر با ۴۷ میلی‌متر و با توجه به الگوی زمانی بارش، ۲۲/۷ میلی‌متر از آن در چارک دوم قرار گرفته و برای رویداد دوم مقادیر بارندگی ۴۵ میلی‌متر است که با توجه به الگوی زمانی بارش، ۲۱/۷ میلی‌متر از آن در چارک دوم قرار گرفته است.

شد. در مرحله بعد بر اساس معیار ارزیابی RSS (رابطه ۲)، بهترین توزیع آماری مشخص شد. این روش براساس مطالعه صادقی و همکاران (۱۳۸۷) به عنوان روش بهینه انتخاب شده است.

$$\text{رابطه ۲: } R.S.S = [\sum(Q_e - Q_o)^2 / (n-m)]^{1/2}$$

در این رابطه Q_e مقدار برآورد شده برای هر یک از داده‌ها، Q_o مقدار مشاهده شده برای هر یک از داده‌ها، n تعداد داده‌ها و m تعداد پارامتر توزیع مورد استفاده است (مه‌دوی، ۱۳۸۱: ۲۱۰).

- شبیه‌سازی هیدروگراف بارش طرح

پس از محاسبه بارش طرح به عنوان شاخص تعیین سیل‌خیزی در زیرحوضه‌ها، هیدروگراف سیل در خروجی هر یک از زیرحوضه‌های مطالعاتی شبیه‌سازی شد. در این مرحله با انتخاب اِلمان رگبار SCS و وارد کردن مقادیر بارش طرح در مدل HEC-HMS واسنجی شده، شبیه‌سازی سیل طرح انجام شد (ملکیان، ۱۳۸۱: ۴۲). در مرحله بعد، با استفاده از روش واکنش سیل واحد، در محیط نرم‌افزار HEC-HMS، زیرحوضه‌ها از نظر شدت سیل‌خیزی اولویت‌بندی شدند. دو نمایه سیل‌خیزی مورد استفاده به صورت زیر بود:

$$\text{رابطه ۳: } F = \left(\frac{\Delta Q_P}{Q_P} \right) \times 100$$

$$\text{رابطه ۴: } f = \frac{\Delta Q_P}{A}$$

که در آن‌ها، F سهم مشارکت زیرحوضه در دبی خروجی کل حوضه برحسب درصد، ΔQ_P مقدار کاهش در دبی خروجی کل حوضه در اثر حذف زیرحوضه موردنظر برحسب مترمکعب بر ثانیه، Q_P

جدول ۲: مقادیر بارش ساعتی برای رویدادهای مرحله‌ی واسنجی

جمع	چارک چهارم	چارک سوم	چارک دوم	چارک اول	زمان	
۴۴	۳/۴	۱۵/۱	۲۲/۷	۵/۹	هایتوگراف بارش	۱۳۹۱/۰۸/۲۲ رویداد
۴۵	۳/۲	۱۴/۵	۲۱/۷	۵/۶	هایتوگراف بارش	۱۳۹۱/۰۹/۰۶ رویداد

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

کاهنده ۰/۷۳۳ ضرب شوند. همچنین مقادیر تلفات اولیه در رویداد ۱۳۹۱/۰۹/۰۶ در عدد افزایشنده ۱/۰۴۵ و مقادیر شماره‌ی منحنی در عدد کاهنده ۰/۷۴۸ ضرب شوند. مطابق با این ضرایب، مقادیر بهینه‌شده‌ی پارامترهای مدل حوضه برای رویداد مذکور در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به فرایند واسنجی پارامترهای تلفات اولیه بارش و شماره‌ی منحنی در مدل HEC-HMS، ضریب بهینه‌سازی این دو پارامتر برای هر دور رویداد در جدول ۳ آمده است. مشاهده می‌شود که بایستی مقادیر تلفات اولیه در رویداد ۱۳۹۱/۰۸/۲۲ در عدد افزایشنده ۱/۱۱۱ و مقادیر شماره‌ی منحنی در عدد

جدول ۳: ضریب بهینه‌سازی پارامترها برای رویدادهای مرحله‌ی واسنجی

رویداد ۱۳۹۱/۰۹/۰۶		رویداد ۱۳۹۱/۰۸/۲۲		پارامتر
ضریب اولیه	ضریب بهینه‌شده	ضریب اولیه	ضریب بهینه‌شده	
۱	۱/۰۴۵	۱	۱/۱۱۱	تلفات اولیه
۱	۰/۷۴۸	۱	۰/۷۳۳	شماره‌ی منحنی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۴: مقادیر اولیه و بهینه‌شده پارامترها در مرحله‌ی واسنجی

رویداد ۱۳۹۱/۰۹/۰۶				رویداد ۱۳۹۱/۰۸/۲۲				زیرحوضه
مقادیر اولیه پارامترها		مقادیر بهینه‌شده پارامترها		مقادیر اولیه پارامترها		مقادیر بهینه‌شده پارامترها		
CN	I _a	CN	I _a	CN	I _a	CN	I _a	
۵۱	۲۵/۱	۶۸	۲۴	۵۰	۲۶/۷	۶۸	۲۴	۱
۴۸	۲۸/۹	۶۵	۲۷/۷	۴۷	۳۰/۷	۶۵	۲۷/۷	۲
۴۹	۲۸/۳	۶۵	۲۷/۱	۴۸	۳۰/۱	۶۵	۲۷/۱	۳
۴۶	۳۳	۶۲	۳۱/۶	۴۵	۳۵/۱	۶۲	۳۱/۶	۴
۴۷	۳۰/۶	۶۳	۲۹/۳	۴۶	۳۲/۵	۶۳	۲۹/۳	۵
۵۰	۲۷/۱	۶۶	۲۵/۹	۴۹	۲۸/۸	۶۶	۲۵/۹	۶
۵۰	۲۶/۵	۶۷	۲۵/۳	۴۹	۲۸/۲	۶۷	۲۵/۳	۷
۵۰	۲۶/۹	۶۶	۲۵/۷	۴۹	۲۸/۶	۶۶	۲۵/۷	۸
۵۱	۲۵/۲	۶۸	۲۴/۱	۵۰	۲۶/۸	۶۸	۲۴/۱	۹

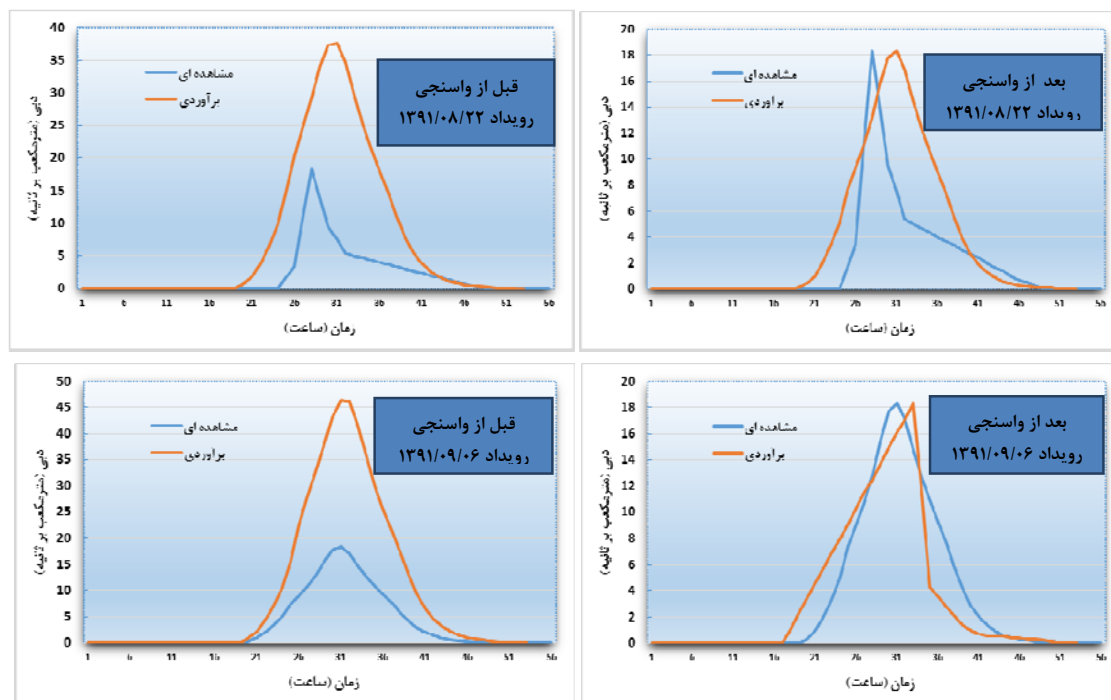
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

شبه‌سازی در برابر مقدار مشاهده‌ای برای رویداد اول (۱۳۹۱/۰۸/۲۲) برابر با ۱۵۳ درصد بوده است. همچنین اختلاف زمانی دبی اوج، یک ساعت کاهش

شکل ۲ هیدروگراف مشاهده‌ای و شبه‌سازی این رویداد را قبل و بعد از واسنجی نشان می‌دهد. طبق این نتایج، قبل از واسنجی، درصد اختلاف دبی اوج

یافته است. از طرفی ضریب کارایی مدل قبل از واسنجی ۰/۸۷۲- است که بعد از واسنجی این مقدار به ۰/۸۷۲ رسیده است. این در حالی است که اختلاف زمانی دبی اوج تغییری نکرده است. از طرفی ضریب کارایی مدل قبل از واسنجی ۰/۶۰۵- است که بعد از واسنجی به مقدار ۰/۱۷۳ رسیده است.

یافته است. از طرفی ضریب کارایی مدل قبل از واسنجی ۰/۸۷۲- است که بعد از واسنجی به مقدار ۰/۸۷۲ رسیده است. برای رویداد دوم (۱۳۹۱/۰۹/۰۶) نیز قبل از واسنجی، درصد اختلاف دبی اوج شبیه‌سازی در برابر مقدار مشاهده‌ای برابر با ۵۲ درصد



شکل ۲: هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی برای رویدادهای مرحله واسنجی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

منحنی و تلفات اولیه) دو رویداد مرحله واسنجی، میانگین گرفته شد تا به مدل مرحله اعتبارسنجی معرفی شود. همچنین ضریب ۰/۲ برای ذخیره نگه‌داشت (S) نیز تغییر کرد که مشاهده می‌شود این ضریب در بیشتر زیرحوضه‌ها به عدد ۰/۱۱ کاهش یافته است. در جدول (۵) میانگین مقادیر بهینه پارامترها ارائه شده است.

هیدروگراف مرحله اعتبارسنجی

همان‌طور که اشاره شد، برای بررسی میزان اعتبار مقادیر بهینه پارامترهای شماره منحنی و تلفات اولیه، مقادیر بهینه به دست آمده از مرحله واسنجی در نرم‌افزار HEC-HMS، بر روی رویداد تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۲۰ مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا از مقادیر بهینه شده پارامترها (شماره

جدول ۵: مقادیر بهینه‌شده پارامترها در مرحله اعتبارسنجی

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	زیرحوضه	مقادیر بهینه‌شده پارامترها
۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱	ضریب ذخیره نگهداشت	
۲۶	۲۷/۷	۲۷/۳	۲۷/۹	۳۱/۶	۳۴/۱	۲۹/۲	۲۹/۸	۲۵/۹	I _a	
۵۰	۴۹	۴۹	۴۹	۴۷	۴۶	۴۸	۴۸	۵۰	CN	

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

در جدول ۶ مقادیر بارش ساعتی رویداد اعتبارسنجی ۴۴ میلی‌متر بارش، ۱۹/۳ میلی‌متر آن در چارک دوم قرار دارد. با اعمال مقادیر بهینه‌شده پارامترها بر روی بارش مذکور، شبیه‌سازی بارش - رواناب انجام شد. همکاران، ۱۳۸۸: ۱۹۵). مشاهده می‌شود که از مجموع

جدول ۶: مقادیر بارش ساعتی تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۲۰ در مرحله اعتبارسنجی

جمع	چارک اول	چارک دوم	چارک سوم	چارک چهارم	زمان
۴۴	۵	۱۹/۳	۱۲/۹	۲/۹	هایتوگراف بارش

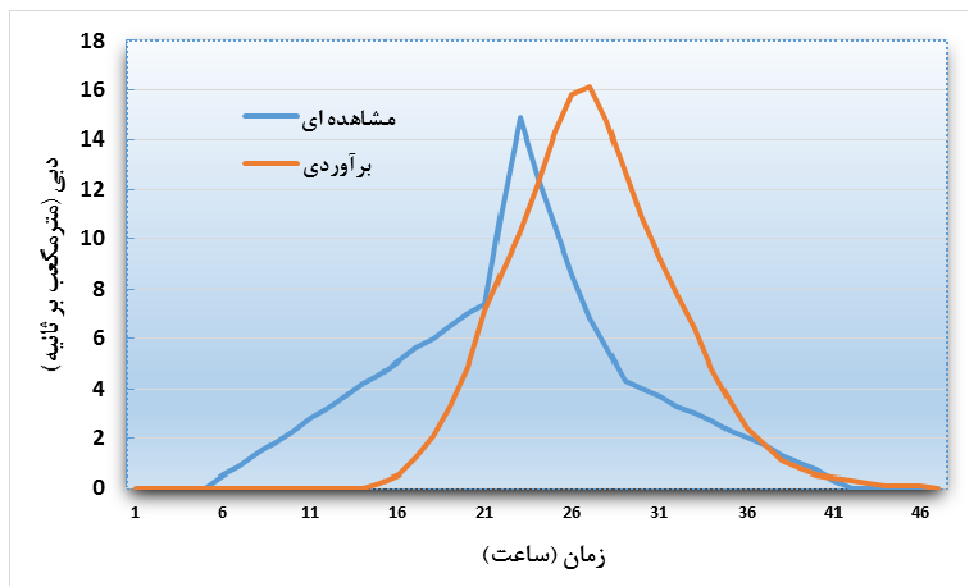
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۷ درصد اختلاف دبی پیک و زمان وقوع آن را در رویداد اعتبارسنجی نسبت به سیل مشاهده‌ای نشان می‌دهد. همچنین شکل ۳ هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی این رویداد را نشان می‌دهد. طبق این نتایج، دبی اوج شبیه‌سازی، اختلافی ۸ درصدی با مقدار مشاهده‌ای دارد که اختلاف زمانی آن نیز حدود ۴ ساعت است.

جدول ۷: درصد اختلاف مشخصه‌های دبی اوج رویداد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در مرحله اعتبارسنجی

فرآیند	پارامتر	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی	اختلاف	درصد اختلاف	ضریب کارایی مدل
اعتبارسنجی	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۱۴/۹	۱۶/۱	۱/۲	۸	۰/۳۳۶
	اختلاف زمانی دبی اوج (ساعت)	۴				

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۳: هیدروگراف تاریخ ۱۳۹۲/۱۲/۲۰ در مرحله اعتبارسنجی تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

– مشخصه‌های سیل بارش طرح

میزان پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌های پل شاه براساس شبیه‌سازی سیلاب بارش طرح بررسی شد که بدین منظور از مقادیر حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰ سال مدنظر قرار گرفت. مقدار این بارش براساس بهترین توزیع آماری در نرم‌افزار

SMADA طبق معیار RSS تعیین شد. جدول ۸ مقادیر این معیار را برای انواع توزیع‌های آماری نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج توزیع لوگ نرمال دو پارامتری با مقدار RSS برابر با ۲۲/۶، عملکرد بهتری نسبت به سایر توزیع‌ها دارد (زارع و همکاران، ۱۳۸۷)؛ بنابراین در این مطالعه از این توزیع استفاده شد.

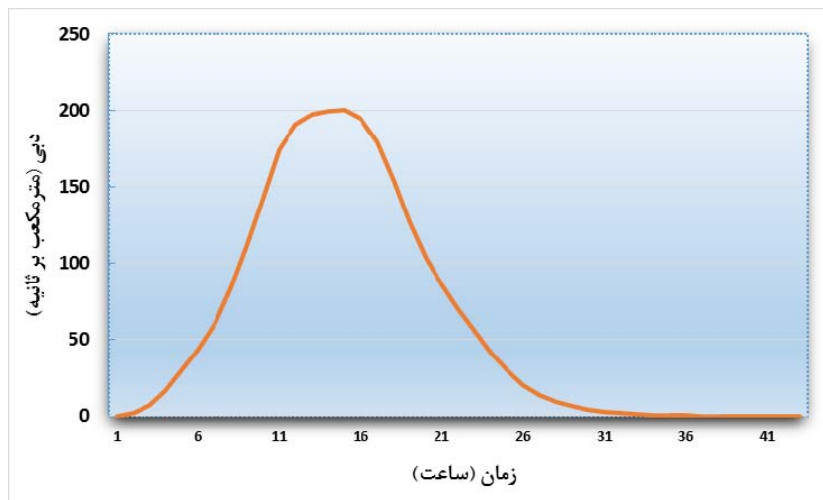
جدول ۸: مقادیر معیار RSS برای انواع توزیع‌های آماری

نرمال	لوگ نرمال دو پارامتری	لوگ نرمال سه پارامتری	پیرسون تیپ ۳	لوگ پیرسون تیپ ۳	گامبل	توزیع
۲۳	۲۲/۶	۲۳/۹	۲۳/۹	۲۴/۷	۲۴/۵	RSS

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

براساس نتایج بهترین توزیع آماری مشاهده شد که در دوره بازگشت ۱۰۰ سال، بارشی برابر با ۹۳/۹۲ میلی‌متر در منطقه رخ خواهد داد. با توجه به مدل

بارش رواناب بهینه، سیلاب این بارش شبیه‌سازی شد که نتایج در شکل ۴ و جدول ۹ آمده است.



شکل ۴: هیدروگراف سیل بارش طرح در حوزه آبخیز پل شاه تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۹: مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب بارش طرح در حوزه آبخیز پل شاه

زیرحوضه	مساحت (km ²)	دبی اوج (m ³ /s)	حجم سیلاب (m ³ /s)	دبی اوج ویژه (m ³ /s/km ²)
۱	۸۵/۹۹	۳۳/۵	۱۳۰۴	۰/۳۹
۲	۳۰۱/۵	۹۰/۱	۳۷۵۵	۰/۳۰
۳	۹۹/۸۶	۴۰/۳	۱۳۰۶	۰/۴۰
۴	۹۵/۶۵	۲۸/۳	۹۹۱	۰/۳۰
۵	۳۲/۲۶	۱۲/۸	۳۷۱	۰/۴۰
۶	۵/۴۳	۲/۵	۷۶	۰/۴۶
۷	۴۵/۳۶	۱۹/۸	۶۴۳	۰/۴۴
۸	۳۹/۲۴	۱۶/۸	۵۵۰	۰/۴۳
۹	۱۶/۳۲	۷/۹	۲۴۷	۰/۴۸
خروجی	۷۵۸/۸	۲۰۰	۹۲۴۳	۰/۲۶

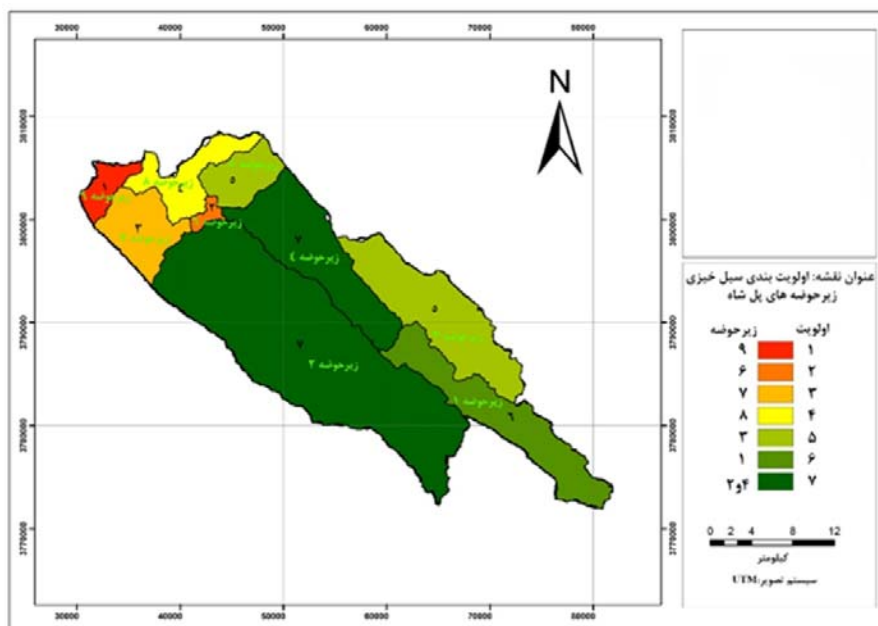
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

مرحله آخر با توجه به نتایج جدول ۹ سهم مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه تعیین شد که نتایج در جدول ۱۰ آمده است. سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۲) از همین رویکرد استفاده کرده و کارایی مدل را تأیید کرده‌اند. در نهایت براساس درصد سهم مشارکت زیرحوضه در دبی خروجی کل حوضه به‌ازای واحد سطح، اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها انجام شد که نتایج در شکل ۵ آمده است. براساس این نتایج، بیشترین درصد سهم مشارکت

طبق نتایج، دبی اوج این سیلاب برابر با ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه در خروجی حوضه است که ۹/۲ میلیون مترمکعب حجم سیلاب آن است. مشاهده می‌شود که بیشترین دبی اوج ویژه مربوط به زیرحوضه ۲ با مقدار ۹۰/۱ مترمکعب بر ثانیه است و کمترین دبی اوج در زیرحوضه‌های ۶ با مقدار ۲/۵ مترمکعب بر ثانیه رخ داده است؛ اما از نظر دبی اوج ویژه بیشترین مقدار مربوط به زیرحوضه ۹ و کمترین مقدار مربوط به زیرحوضه‌های ۲ و ۴ بوده است. در

۶ و ۹ سیل خیزی بالایی دارند، پس سیل خیزی متأثر از وضعیت زیرحوضه‌ها نیست، بلکه موقعیت فیزیوگرافی و شرایط زمین‌شناسی و بارش تأثیر بیشتری در سیل خیزی دارند. رضوی‌زاده و شاهدی (۱۳۹۵) اثرات ده معیار شامل مساحت، ضریب گراولیس، تراکم زهکشی، شیب متوسط، درصد اراضی نفوذناپذیر، ارتفاع متوسط، شماره منحنی، شیب آبراهه اصلی، طول آبراهه اصلی و زمان تمرکز را در سیل خیزی مطالعه کردند. نتایج ایشان نشان داد، سه معیار درصد اراضی نفوذناپذیر، شماره منحنی و شیب آبراهه اصلی به ترتیب بیشترین اثر را دارند. در مطالعه کنونی همه این معیارها به‌طور غیرمستقیم مطالعه شده‌اند؛ زیرا پارامترهای ورودی مدل شامل این معیارهاست. در مقایسه مطالعه کنونی با این مطالعه ایشان، درصد اراضی نفوذناپذیر و شماره منحنی بیشترین اثر را در سیل خیزی دارند و شیب و مساحت کمترین اثر را دارند.

زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه مربوط به زیرحوضه ۲ با مقدار ۴۵ درصد و کمترین آن مربوط به زیرحوضه ۶ با مقدار ۱ درصد است. این درحالی است که بیشترین درصد سهم مشارکت زیرحوضه در دبی خروجی کل حوضه به‌ازای واحد سطح مربوط به زیرحوضه ۹ با مقدار ۴۸ درصد و کمترین آن مربوط به زیرحوضه‌های ۲ و ۴ با مقدار ۳۰ درصد است. با اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل خیزی نیز همین نتیجه حاصل شد. به‌طوری‌که زیرحوضه‌های ۹ و ۶ و ۷ به ترتیب از اولویت سیل خیزی بالاتری برخوردار هستند و زیرحوضه‌های ۲ و ۴ کمترین پتانسیل سیل خیزی را دارند. همان‌طور که زهتابیان و همکاران (۱۳۸۸) نشان می‌دهند، سهم زیرحوضه‌ها در پتانسیل سیل خیزی کل حوضه، تنها تحت تأثیر مساحت آن‌ها نیست و عواملی چون موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و روندیابی سیل در رودخانه اصلی نیز در رژیم سیلابی حوضه تأثیر مهمی دارند. در مطالعه کنونی حوضه‌های نسبتاً کم‌وسعت مانند زیرحوضه‌های



شکل ۵: اولویت‌بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌ها در حوزه آبخیز پل شاه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۱۰: سهم مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوزه آبخیز پل شاه

زیرحوضه	درصد سهم مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه	درصد سهم مشارکت زیرحوضه در دبی خروجی کل حوضه به‌ازای واحد سطح	اولویت سیل‌خیزی
۱	۱۷	۳۹	۶
۲	۴۵	۳۰	۷
۳	۲۰	۴۰	۵
۴	۱۴	۳۰	۷
۵	۶	۴۰	۵
۶	۱	۴۶	۲
۷	۱۰	۴۴	۳
۸	۸	۴۳	۴
۹	۴	۴۸	۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

نتیجه

از آنجا که خسارات ناشی از سیلاب مربوط به گذر آب در واحد زمان است؛ بنابراین هدف نیز باید کاهش دبی اوج سیلاب باشد تا بتوان خسارات مربوط را کاهش داد؛ از این رو درصد خطای دبی اوج به‌عنوان تابع هدف در مرحله واسنجی انتخاب شد. در تحقیقات مشابه نیز مبنای ارزیابی مدل SCS، براساس دبی اوج سیلاب بوده است. با اعمال فرایند شبیه‌سازی اولیه مشخص شد که مدل برای هر دو رویداد، مقدار دبی اوج را بیشتر از مقدار ثبت‌شده برآورد می‌کند؛ بنابراین با اعمال فرایند واسنجی و تابع درصد خطای اوج، پارامترهای تلفات اولیه و شماره منحنی اصلاح و بهینه شدند.

با توجه به نتایج مشخص شد که تابع هدف انتخابی (درصد خطای دبی اوج) به‌خوبی توانسته است اختلاف مقادیر دبی اوج شبیه‌سازی و مشاهده‌ای را در هر دو رویداد واسنجی به صفر برساند. نتایج مبین این مطلب بود که مدل بارش-رواناب علاوه بر پارامتر دبی اوج، در پیش‌بینی زمان وقوع دبی اوج نیز دقت قابل‌قبولی داشته است. هرچند می‌توان به این نکته نیز اشاره کرد، آیا زمان وقوع دبی اوج مشاهده‌ای نیز به‌درستی ثبت شده است یا اینکه نمونه‌بردار با زمان ثبت بیشترین دبی مشاهده‌ای را به‌عنوان زمان وقوع دبی

اوج لحاظ کرده است. با مقایسه زمانی وقوع دبی اوج مشخص شد، اختلاف زمانی وقوع دبی اوج هیدروگراف شبیه‌سازی و مشاهده‌ای تقریباً ۴ ساعت است که این خطا نسبتاً کم است؛ بنابراین مدل بارش-رواناب در مرحله اعتبارسنجی نیز توانسته علاوه بر پارامتر دبی اوج، زمان وقوع دبی اوج را نیز تا حد قابل‌قبولی با دقت پیش‌بینی کند. طبق نتایجی که به‌دست آمد، مشخص شد که مدل به شرط اصلاح پارامترهای شماره منحنی و تلفات اولیه می‌تواند با دقت قابل‌قبولی دبی اوج سیل را پیش‌بینی کند. با توجه به پیچیدگی متغیرهای تأثیرگذار در فرایند شبیه‌سازی رواناب، به‌نظر می‌رسد تهیه و توسعه مدل‌های مربوط براساس استنتاج و استخراج داده‌های بارش و عوامل درون‌حوضه‌ای نیازمند دقت بیشتری است. از طرفی بایستی مقادیر بهینه پارامترهای مدل حوضه آبخیز به‌خوبی و برای رویدادهای بیشتری واسنجی و اعتبارسنجی شوند. در این تحقیق به‌دلیل محدودیت در ثبت هم‌زمان سیل مشاهده‌ای و بارش متناظر، تنها از ۳ رویداد بهره گرفته شد. درباره تهیه مدل بارش-رواناب SCS مشخص شد که این روش در برآورد دبی اوج و پارامترهای زمانی توانسته دقت بالایی داشته باشد. با توجه به اینکه خسارات سیل با افزایش دبی اوج رابطه مستقیمی دارند، تعیین سهم مشارکت زیرحوضه‌ها در

- حسینی، علیرضا؛ زهرا حجازی‌زاده (۱۳۹۴). بررسی نقش مشارکت زیرحوضه‌های آبخیز در شدت سیل‌خیزی با استفاده از مدل هیدرولوژیک HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)، کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب. تهران. شرکت همایش فرازان کاراهیا. ۱۲ ص.
- دارابی، حمید؛ کریم سلیمانی؛ کاکا شاهی؛ میرحسن میریعقوب‌زاده (۱۳۹۱). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز براساس پارامترهای مورفومتریک با استفاده از تکنیک GIS، محیط‌زیست و توسعه. ۳ (۵): ۱۴-۷.
- رزمجویی، نازیلا؛ محمدمهدوی؛ محسن محسنی‌ساروی؛ بهارک معتمدوزیری (۱۳۹۲). ارزیابی کارایی روش‌های شماره منحنی و روش استدلالی در برآورد دبی اوج سیل (حوزه آبخیز وردیج). دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم، همدان - شرکت هم‌اندیشان محیط‌زیست فردا، ۹ ص.
- رضوی‌زاده، سمانه؛ کاکا شاهی (۱۳۹۵). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS. فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران. ۷ (۴): ۳۳-۴۶.
- رفیعی‌ساردویی، الهام؛ شهرام خلیقی‌سیگارودی؛ علی آذره؛ محمد رستمی‌خلج (۱۳۹۴). کاربرد مدی-HEC-HMS در اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز بالادست سد کرج، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ۹ (۲۸): ۵۳-۵۶.
- زهتابیان، غلامرضا؛ جمال قدوسی؛ حسن احمدی؛ مجتبی خلیلی‌زاده (۱۳۸۸). بررسی اولویت پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز و تعیین مناطق مولد سیل در آن (مطالعه موردی: حوضه آبخیز مارمه - استان فارس)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۲ (۶): ۱۳-۱.

پتانسیل سیل‌خیزی می‌تواند به ارائه برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی در زیرحوضه‌ها و همچنین برنامه‌های مهندسی رودخانه با درجه اطمینان بالا کمک کند؛ بنابراین برای پرداختن به بسیاری از مشکلات مرتبط با برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت مهندسی هیدرولوژیکی، یک دانش دقیق از خصوصیات سیل به‌ویژه دبی اوج لازم است.

منابع

- بدری، بهرام؛ رفعت زارع‌بیدکی؛ افشین هنربخش؛ فاطمه آتشخوار (۱۳۹۵). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۴۸ (۱): ۱۵۸-۱۴۳
- عباسی، محمد؛ محسن محسنی‌ساروی؛ میرمسعود خیرخواه؛ شهرام خلیقی‌سیگارودی؛ قباد رستمی‌زاد؛ مجید حسینی (۱۳۸۹). بررسی تأثیر فعالیت‌های آبخیزداری در زمان تمرکز و شماره منحنی حوزه بهره‌گیری از مدل HEC-HMS (بررسی موردی: حوزه آبخیز کن تهران)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران دانشگاه تهران، ۶۳ (۳): ۳۸۵-۳۷۵.
- بهرامی، سیدعلیرضا؛ مجید اونق؛ حسن فرازجو (۱۳۹۰). نقش روندیابی رودخانه در شناسایی و اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد بوستان از نظر سیل‌خیزی و ارائه راهکارهای مدیریتی، مجله حفاظت منابع آب و خاک. ۱ (۱): ۲۷-۱۱.
- بیدل، رامین؛ عبدالرسول تلوری؛ مسعود گودرزی (۱۳۸۸). الگوی توزیع زمانی بارش در استان کرمانشاه. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱ (۳): ۱۸۹-۲۰۰.
- ثقفیان، بهرام؛ حسن فرازجو (۱۳۸۶). تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک حوزه سد گلستان، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری. شماره ۱. صفحات ۱۱-۱.

- سلیمانی‌ساردو، فرشاد؛ سعید سلطانی کوپایی؛ علی سلاجقه (۱۳۹۱). انتخاب شاخص سیل‌خیزی مناسب یا استفاده از مدل بارش-رواناب و تکنیک‌های GIS و RS (مطالعه موردی: حوضه سد جیرفت)، پژوهش‌نامه مدیریت حوضه آبخیز، ۴ (۸): ۹۰-۱۰۵.
- صادقی، سیدحمیدرضا؛ محمد مهدوی؛ سیده لاله رضوی (۱۳۸۷). واسنجی ضریب شاخص حداکثر ذخیره و شماره منحنی مدل SCS در حوزه‌های آبخیز امامه، کسلیان، درجزین و خانمیرزا، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. انجمن آبخیزداری ایران. ۲۴-۱۲: (۴)۲.
- علیزاده، امین (۱۳۷۸). اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ یازدهم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ۶۲۲ صفحه.
- کمالی، مهدی؛ کریم سلیمانی؛ کاکا شاهی؛ امیر نوشهری؛ افشین گمرکچی (۱۳۹۴). تعیین نقاط سیل‌خیز و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در حوضه آبخیز باراجین شهر قزوین با استفاده از تلفیق مدی-HEC و HMS و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۹ (۲۹): ۳۴-۲۷.
- ملکیان، آرش (۱۳۸۱). بررسی و ارزیابی کارایی و واسنجی روش شماره منحنی در برآورد رواناب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، ۱۷۹ صفحه.
- مهدوی، محمد (۱۳۸۱). هیدرولوژی کاربردی، جلد اول. چاپ سوم. انتشارات دانشگاه تهران. تهران. ۴۳۷ صفحه.
- مهدوی، محمد (۱۳۸۱). هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۴۴۰ صفحه.
- نوری، فریده؛ جواد بهمنش؛ بایرامعلی محمدنژاد؛ حسین رضایی (۱۳۹۱). ارزیابی مدل WMS/HEC-HMS در پیش‌بینی سیلاب حوضه آبریز قروه، مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، ۱۹ (۴): ۲۱۰-۲۰۱.
- Abdul Rahaman, S., Abdul Ajee, S., Aruchamy, S. And Jegankuma, R (2015). Prioritization of Sub Watershed Based on Morphometric Characteristics Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Geographical Information System – A Study of Kallar Watershed, Tamil Nadu. Aquatic Procedia 4, 1322-1330.
- Jaiswal, R.K., Ghosh, N.C., Galkate, R.V. and Thomas, T. (2015). Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) for watershed Prioritization. Aquatic Procedia 4, 1553-1560.
- Javed, A.; Mohd Yousuf, K. & Rizwan, A (2009). Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric and LandUse Analysis using Remote Sensing and GIS Techniques, J. Indian Soc. Remote Sense, 37: 261- 274.
- Mishra, S & Nagarajan, R (2010). Morphometric analysis and prioritization of sub-watersheds using GIS and Remote sensing techniques: a case study of odisha, India, International Journal of Geomatics and Geoscience, 3: 501-510.
- Sindhu, D., Sadashivappa, A.S. Ravikumar, B. and Shivakumar L (2015). Quantitative Analysis of Catchment Using Remote Sensing and Geographic Information System. Aquatic Procedia 4, 1421-1428.