

جغرافیا و توسعه شماره ۵۳ زمستان ۱۳۹۷

وصول مقاله : ۹۶/۰۹/۲۸

تأیید نهایی : ۹۷/۰۶/۲۴

صفحات : ۶۹-۸۴

## اولویت بندی سیل خیزی واحدهای هیدرولوژیک

### مطالعه موردی: حوضه آبریز پل شاه

بهاره اعظمی بابانی<sup>۱</sup>، دکتر مهدی مومی پور<sup>۲\*</sup>، دکتر آرش آذری<sup>۳</sup>

#### چکیده

تعیین پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبخیز و اولویت بندی زیرحوضه‌ها، یکی از مهم ترین اقدامات در مطالعات آمایش سرزمین محسوب می‌شود. در تحقیق حاضر اولویت بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌ها در آبخیز پل شاه 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 شبیه سازی بارش-رواناب از روش SCS و برای تعیین تلفات اولیه از روش شماره منحنی از نرم افزار HEC-HMS استفاده شد. ارزیابی مدل با ضریب ناش-ساتکلیف انجام شد. همچنین به منظور تعیین بارش طرح، از توزیع‌های آماری در نرم افزار 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 اصلاح شده شماره منحنی و تلفات اولیه نیز، ضریب کارایی برابر با ۰/۳۳۶ و خطای دبی اوج، ۸ درصد شد که دقت و صحت مدل سازی به اثبات رسید. در بررسی پتانسیل سیل خیزی مشخص شد که بارش طرح با مقدار ۹۳ میلی متر 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 زمین شناسی و پوشش، پتانسیل سیل خیزی بیشتری داشته و زیرحوضه‌های بالادست سیل خیزی کمتری دارند. واژه‌های کلیدی: پتانسیل سیل خیزی، HEC-HMS، تلفات اولیه، شماره منحنی، حوضه آبخیز پل شاه.

۱- دانش آموخته 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 (ثقفیان 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 موردبررسی 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.

سلیمانی‌ساردو 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 به‌عنوان 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

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<sup>۱</sup> (۲۰۰۹: ۲۷۱)، میشرای و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰: ۵۰۸)، عبدالرحمن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۵: ۱۳۲۷)، جایزوال و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۵: ۱۵۵۸) و سیندهو و همکاران<sup>۵</sup> (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

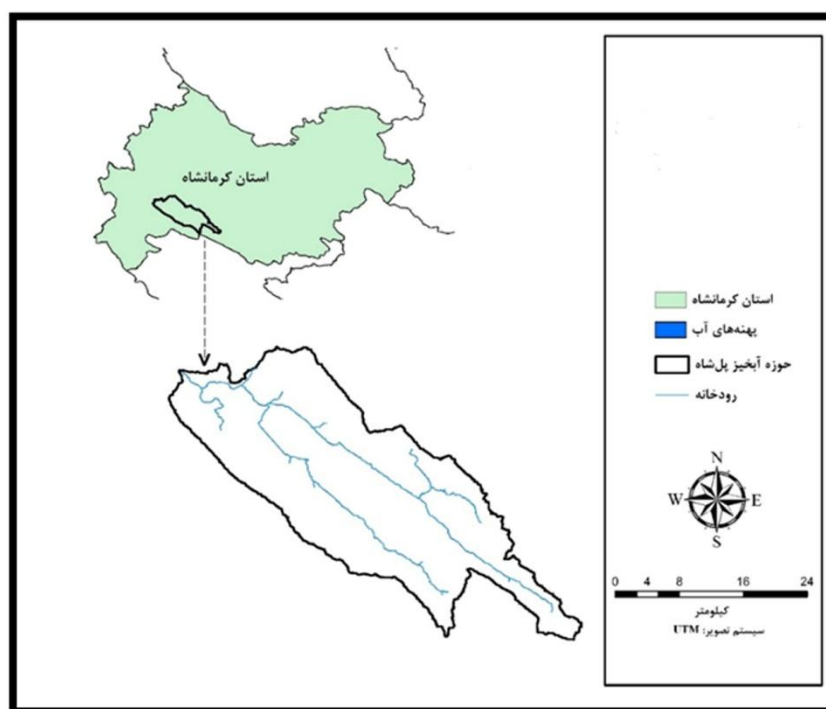
حوضه آبخیز پل‌شاه یکی از زیرحوضه‌های حوضه آوند است که از نظر تقسیم‌بندی سیاسی در محدوده استان کرمانشاه (شهرستان‌های اسلام‌آباد، گیلان غرب و سرپل ذهاب) واقع شده است. این حوضه با مساحت ۷۵۸۸۳ هکتار در مختصات جغرافیایی ۳۴° ۱۹' ۵۷" - ۳۳° ۵۹' ۵۶" عرض شمالی و ۴۶° ۲۸' ۳۶" - ۴۸° ۴۵' ۴۸" طول شرقی واقع شده است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

آمار موجود استخراج و مورد واسنجی در مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS قرار گرفت. به‌منظور واسنجی از روش SCS برای شبیه‌سازی آب‌نگار سیلاب و برای روندیابی در آبراه‌ها از روش Lag time استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه تنها تحت تأثیر مساحت و دبی اوج زیرحوضه‌ها نیست و عواملی مانند شماره منحنی و گروه هیدرولوژیکی 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

به منظور 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 به نام 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. به منظور جداسازی آب پایه از سیل از روش اول

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 المان مربوط به آن، داده‌های بارش ایستگاه باران‌سنجی پل‌شاه مشخص

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.

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

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 درخواهد آمد و در صورت عدم تأیید بایستی مقادیر مجدداً با رویدادی دیگر بهینه شوند.

#### - محاسبه بارش طرح

به منظور شناخت بیشتر از خصوصیات سیل‌خیزی 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 ثبت‌شده 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 (S/۰)، 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<sup>۱</sup> (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

زیرحوضه موردنظر برحسب مترمکعب بر ثانیه،  $QP$  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 المان‌های 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 (مهروی، 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 المان رگبار SCS و وارد کردن مقادیر بارش طرح در مدل HEC-HMS واسنجی شده، شبیه‌سازی سیل طرح انجام شد (ملکین، 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،  $\Delta Q_P$  مقدار کاهش در دبی خروجی کل حوضه در اثر حذف

جدول ۲: مقادیر بارش ساعتی برای رویدادهای مرحله 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 افزاینده ۱/۰۴۵ و مقادیر شماره منحنی در عدد کاهنده ۰/۷۴۸ ضرب شوند. مطابق با این ضرایب، مقادیر بهینه‌شده پارامترهای مدل حوضه برای رویداد مذکور در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به فرایند واسنجی پارامترهای تلفات اولیه بارش و شماره 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 افزاینده ۱/۱۱۱ و مقادیر شماره منحنی در عدد

جدول ۳: ضریب بهینه‌سازی پارامترها برای رویدادهای مرحله واسنجی

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

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۴: مقادیر اولیه و بهینه‌شده پارامترها در مرحله واسنجی

رویداد ۱۳۹۱/۰۹/۰۶				رویداد ۱۳۹۱/۰۸/۲۲				زیرحوضه
مقادیر اولیه پارامترها		مقادیر بهینه‌شده پارامترها		مقادیر اولیه پارامترها		مقادیر بهینه‌شده پارامترها		
CN	I <sub>a</sub>	CN	I <sub>a</sub>	CN	I <sub>a</sub>	CN	I <sub>a</sub>	
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

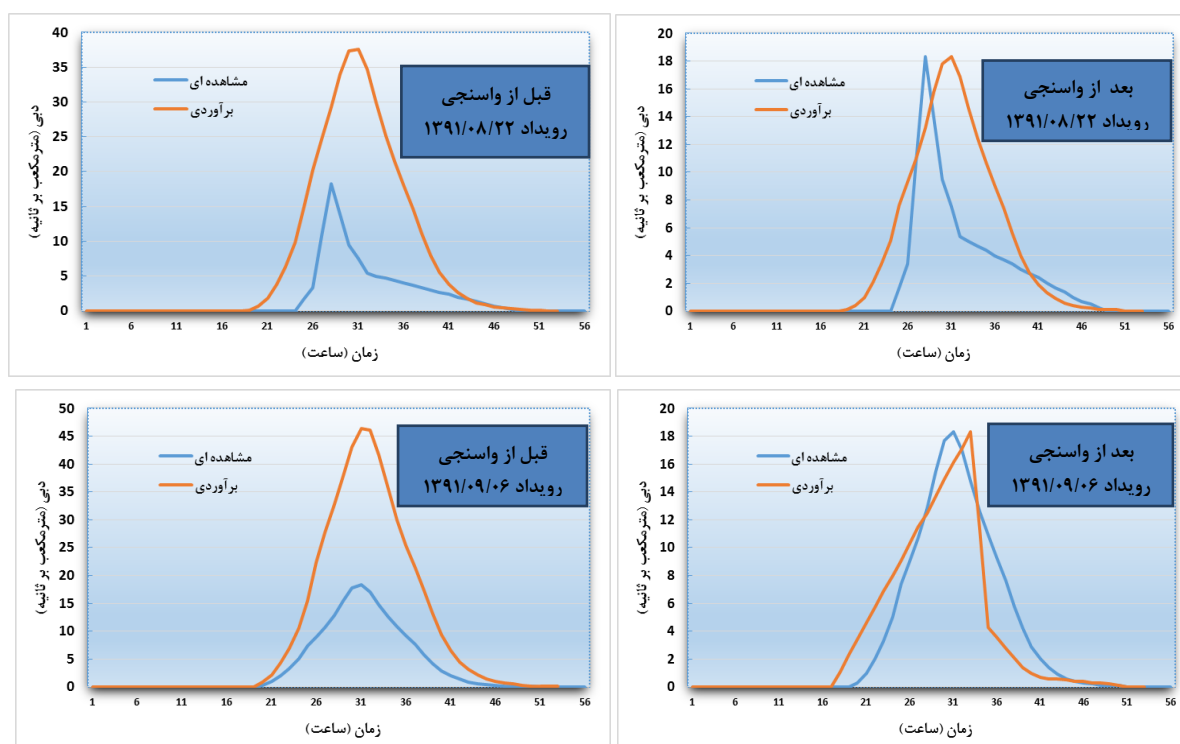
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

شبهه‌سازی 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 شبهه‌سازی 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 ۲/۸۷۱- 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

یافته است. از طرفی ضریب کارایی مدل قبل از واسنجی ۲/۸۷۱- 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 بهینه‌شده پارامترها (شماره



جدول ۵: مقادیر بهینه‌شده پارامترها در مرحله اعتبارسنجی

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

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

در جدول ۶ مقادیر بارش ساعتی رویداد اعتبارسنجی براساس الگوی زمانی بارش تنظیم شد (بیدل و همکاران، ۱۳۸۱: ۱۹۵). مشاهده می‌شود که از مجموع بارش مذکور، شبیه‌سازی بارش - رواناب انجام شد.

در جدول ۶ مقادیر بارش ساعتی رویداد اعتبارسنجی براساس الگوی زمانی بارش تنظیم شد (بیدل و همکاران، ۱۳۸۱: ۱۹۵). مشاهده می‌شود که از مجموع بارش مذکور، شبیه‌سازی بارش - رواناب انجام شد.

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

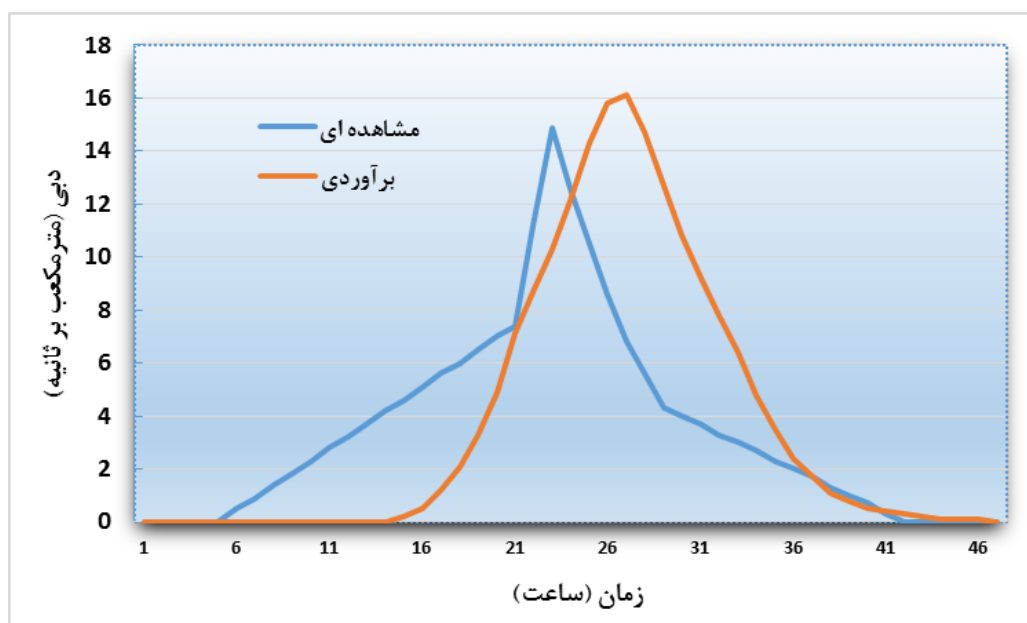
جدول ۷ درصد اختلاف دبی پیک و زمان وقوع آن را در رویداد اعتبارسنجی نسبت به سیل مشاهده‌ای نشان می‌دهد. همچنین شکل ۳ هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی این رویداد را نشان می‌دهد.

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.

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 سیل‌خیزی 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.

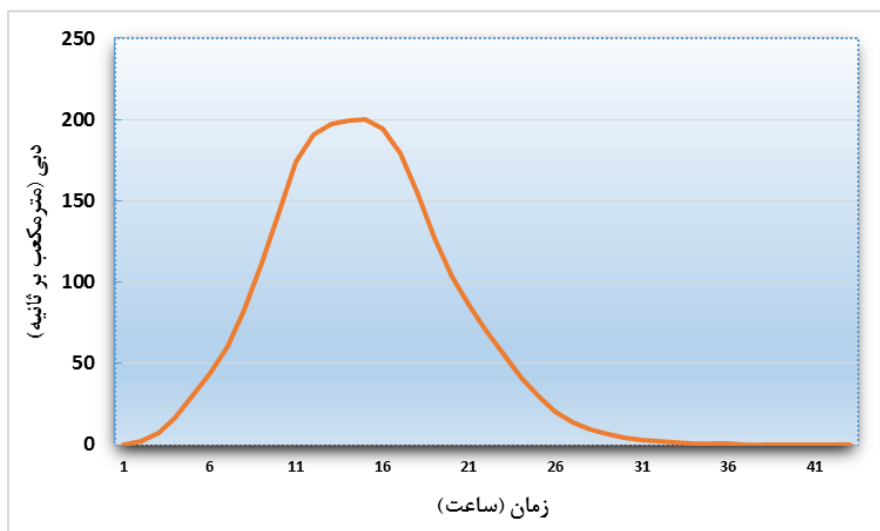
جدول ۸: مقادیر معیار RSS برای انواع توزیع‌های آماری

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 <sup>2</sup> )	دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)	حجم سیلاب (m <sup>3</sup> /s)	دبی اوج ویژه (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )
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

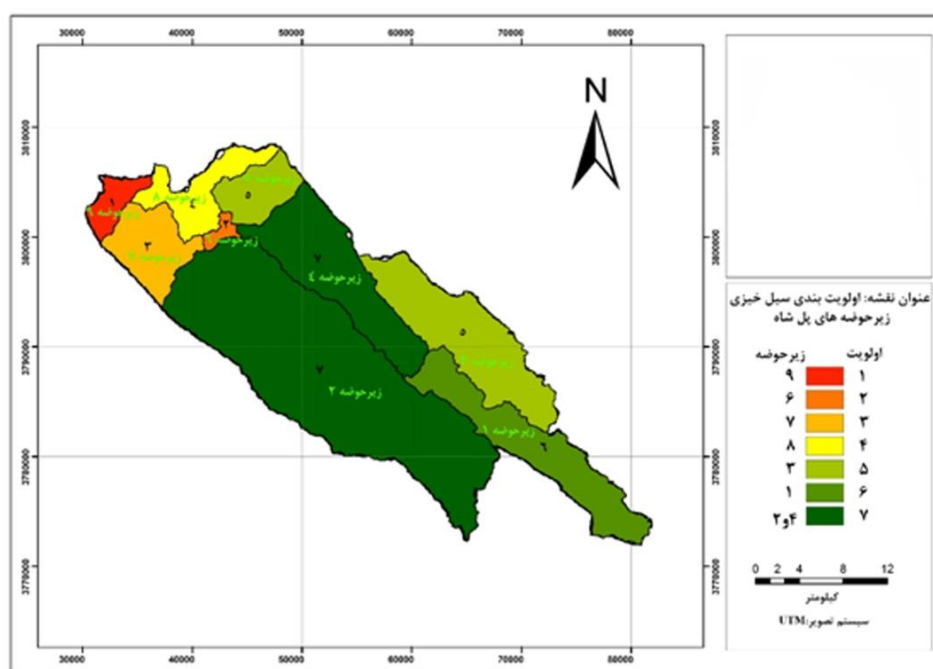
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

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. درنهایت 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

۹ و ۶ سیل خیزی بالایی دارند، پس سیل خیزی متأثر از وضعیت زیرحوضه‌ها نیست، بلکه موقعیت فیزیوگرافی و شرایط زمین‌شناسی و بارش تأثیر بیشتری در سیل‌خیزی دارند. رضوی‌زاده و شاهدی (۱۳۹۵) اثرات ده معیار شامل مساحت، ضریب گراولیوس، تراکم زهکشی، شیب متوسط، درصد اراضی نفوذناپذیر، ارتفاع متوسط، شماره منحنی، شیب آبراهه اصلی، طول آبراهه اصلی و زمان تمرکز را در سیل‌خیزی مطالعه کردند. نتایج ایشان نشان داد، سه معیار درصد اراضی نفوذناپذیر، شماره منحنی و شیب آبراهه اصلی به‌ترتیب 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 سیل‌خیزی 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 سیل‌خیزی نیز همین نتیجه حاصل شد. به‌طوری‌که زیرحوضه‌های ۹ و ۶ و ۷ به‌ترتیب از اولویت سیل‌خیزی بالاتری برخوردار هستند و زیرحوضه‌های ۲ و ۴ کمترین پتانسیل سیل‌خیزی را دارند. همان‌طور که زهتابیان و همکاران (۱۳۸۸) نشان می‌دهند، سهم زیرحوضه‌ها در پتانسیل سیل‌خیزی کل حوضه، تنها تحت تأثیر مساحت آن‌ها نیست و عواملی چون موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و روندیابی سیل در رودخانه اصلی نیز در رژیم سیلابی حوضه تأثیر مهمی دارند. در مطالعه کنونی حوضه‌های نسبتاً کم‌وسعت مانند زیرحوضه‌های



شکل ۵: اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها در حوزه آبخیز پل شاه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۵

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

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

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 علاوه‌بر 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 علاوه‌بر پارامتر دبی اوج، زمان وقوع دبی اوج را نیز تا حد قابل‌قبولی بادقت 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 حوزه 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 شاهدی؛ میرحسن میریعقوب‌زاده (۱۳۹۱). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز براساس پارامترهای مورفومتریک با استفاده از تکنیک GIS. محیط‌زیست و توسعه. ۳ (۵): ۱۴-۷.

- رزمجویی، نازیلا؛ محمد مهدوی؛ 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 شاهدی (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، یک‌دانش 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 با 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. ۲ (۴): ۱۲-۲۴.
- 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 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 آب‌و‌خاک. 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.





Geography and Development  
16<sup>nd</sup> Year-No.53–Winter 2019  
Received: 19/12/2017 Accepted: 15/09/2018

**Prioritization of Flooding of Hydrologic Units  
Case Study: Pole Shah Catchment**

**Bahareh Azami-Babani**

M.Sc of Geomorphology  
University of Marine Science and  
Technology, Khorramshahr

**Dr. Mehdi Mumipour**

Assistant Professor of Geomorphology  
University of Marine Science and  
Technology, Khorramshahr

**Dr. Arash Azari**

Assistant Professor Engineering, Agriculture Faculty  
University of Razi, Kermanshah

**Introduction**

In most regions of Iran, the effect of precipitation and distribution on climatic characteristics has caused seasonal floods and irreparable damages. Because of the large extent of catchment areas and economic and administrative constraints, the recovery of watersheds from the perspective of water management is not possible by single project. Selection of priorities for the implementation of such projects is a management decision that must be made by studying the physical and socioeconomic conditions of the region. The physical conditions governing the basin, as well as socioeconomic issues and technical constraints forces us to carry out watershed management operations in a small section of the basin in each basin. Therefore, the most important concern of related engineers and executive experts is the selection of sub-basins for the operation of watershed management. Prioritization is generally based on selective criteria or only on the basis of a target in watershed management such as flooding, soil erosion and so on. Many researchers have prioritized hydrologic units in the watersheds. Therefore, the purpose of this study is to prioritize sub-basins using the HEC-HMS hydrologic model in the Pole shah basin. Achieving this goal can be the basis for prioritizing the watersheds in order to implement related projects and preventing high costs in unnecessary areas.

**Methods and Material**

Pole shah is a sub basin of Alvand Basin. The rainfall and runoff events of the rain-gauge and hydrometric stations in the watershed were studied. Simulation of watersheds in HEC-HMS was carried out by four basic components such as basin model, meteorological model, control characteristics and time series. The calculation of the casualties in the basin, the conversion of excess precipitation to runoff, baseline flow, and simulation of flow in the canal and reservoirs and their

reconfiguration in the basin model was performed and the basin model was divided into 9 sub-basins. The SCS was used to calculate the baseline casualties' parameter, which in the preset state is equal to 0.2 of specific storage (S). Hydro graph analysis and special methods were used as a meteorological model to isolate the base water from flood discharges. Rainfall- runoff time series consists of two components. The first component is related to the time series of rainfall data, which in the element related to it, the rainfall data of the Pole Shah's rain-gauge station were determined. The second component is related to the observed hydrograph of the flood. In this element, the recorded flood hydrograph data for the Pole shah hydrometric station on the Deira River at the basin outlet was entered into the model at one hour intervals.

### **Results and Discussion**

Initially, 9 sub-basins were defined, using 4 intervals and 5 interconnections. Then, CN values were calculated based on the landuse and the soil hydrologic group layers in the GIS environment. The HEC-HMS software was calibrated to correct the initial loss rates and curve number related to the basin model, the events of 2012.11.12 and 2012.11.26. Observed and simulated hydrographs of these events were prepared before and after calibration. Before the calibration, the percentage of peak dismemberment of the simulation against the observed value for the first event (2012.12.11) was 153%. Also, the peak time difference has fallen by one hour. On the other hand, the performance factor of the model before calibration is -2.871, which after calibration reached to 0.872. For the second event (2012.11.26), before the calibration, the percentage difference in peak discharge simulation against the observed value was 52%. However, after calibration, this value has reached to zero. This is while the peak time difference has not been changed. On the other hand, the efficiency of the model before calibration is 6.05, which after calibration reached to 0.173. As mentioned above, for the purpose of checking the validity of the optimal values of the curve number and initial loss parameters, the optimal values obtained from the calibration step in the HEC-HMS software were validated by the 2014.03.11 event data. Initially, the values of the optimized parameters (curve number and initial mortality) of the two calibration step events were taken to introduce the model validation stage. Also, the coefficient of 0.2 for specific storage (S) has changed and in most sub-basins it decreased to 0.19. According to the results, the flood peak is 200 m<sup>3</sup>/s at the outlet of the basin, which lead to 9.2 million cubic meters of its annual flood volume. It was observed that the highest peak discharge occurred in sub-basin 2 with a value of 90.1 m<sup>3</sup>/s and the lowest in sub-basins 6 with a value of 2.5 m<sup>3</sup>/s. However, in terms of peak discharge, the highest value was for sub-basin 9 and the lowest was for sub basins 2 and 4. The relatively small basins, such as the sub basins 9 and 6, have a high flood density, so the flooding is not affected by the sub-basin area, but the physiographic and the geological conditions as well as precipitation are more effective in flooding.

### **Conclusion**

With the initial simulation, it was found that the model estimates the peak discharge value higher than the recorded value for both events. Therefore, applying the calibration process and the

percentage error function, the initial losses and the curve number were optimized. According to the results, it was found that the selected target function (percent of peak discharge error) was able to perfectly match the peak sum of simulation and observation values in both calibration events to zero. The results indicated that the rainfall-runoff model, in addition to the peak discharge parameter, was also well-proven in predicting peak runoff time. Comparing the peak discharge time, it was found that the difference between the peak discharge time and the hydrograph peak is approximately 4 hours. This error is relatively low. Therefore, the rainfall-runoff model in the validation step has been able to predict the peak discharge time in addition to the peak discharge parameter with acceptable accuracy. According to the results obtained, it was found that the model can predict the peak flood peak accurately with the correction of the parameters of the curve number and initial losses. Considering the complexity of the variables that affect the runoff simulation process, it seems that the preparation and development of related models based on the deduction and extraction of precipitation data and factors within the basin requires more precision. On the other hand, optimal parameters of the watershed model must be well calibrated and validated for more events. In the case of the preparation of the rainfall-runoff model, SCS, it was found that this method has been well-proven in estimating peak discharge and time parameters. Given that flood damage is directly related to peak runoff, determining the contribution of sub-basin participation to flood potential can help provide management and conservation programs.

**Keywords:** Flooding risk, HEC-HMS, Initial losses, Curves Number, Pole-Shah Catchment.

## References

- Abbasi, M; Mohseni Saravi, M.; Khairkhan, Mi.; Khalighi Sigarodi, Sh.; Rostamizad, G.; Hosseini, M(2010). Investigating the Effect of Activities concentration time and Curve Number on Watershed Using HEC-HMS Model (Case Study: Kan watershed of Tehran). Irrigation and Watershed Journal, Iranian Journal of Natural Resources, University of Tehran, 63 (3): 385-375 (In Persian).
- Abdul Rahaman, S., Abdul Ajee, S., Aruchamy, S., 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.
- Alizadeh, A (1999). Principles of Applied Hydrology, Imam Reza University Press, Mashhad, 622 p. (In Persian).
- Badri, B; Zare-Bidaki; R.; Honarbakhsh; A.; Atashkhar; F (2016). Prioritization of Beheshtakad watersheds in terms of flood potential, Physical Geography research 48 (1): 158-143 (In Persian).
- Bahrami, A; Onagh, M.; Farazjoo, H. (2011). River Rendering Role in Identifying and Prioritizing Hydrological Units in Boustan Dam Basin for Flood Management and Providing Management Solutions, Journal of Soil and Water Resource Conservation, 1 (1): 27-11(In Persian).
- Bidel, R.; Telvari, A.R.; Goodarzi, M. (2009). Rainfall Distribution Model in Kermanshah Province. Journal of Engineering and Watershed Management, 1 (3): 189-200 (In Persian).

- Bo, X., Wang Q.H., Fan J., Han, F.P. and Dai, Q.H. (2011). Application of the SCS-CN model to runoff estimation in a small watershed with high spatial heterogeneity. *Pedosphere*, 21(6): 738–749.
- Darabi, H.; Soleimani; K.; Shahedi; K.; Miriyaghobzadeh; M.H. (2012) Prioritization of flood risk of the watersheds based on morphometric parameters using GIS technique. *Environment and Development*, 3 (5): 14-7 (In Persian).
- Hosseini, A.; Hejazizadeh, Z (2015). Investigating the Role of Participation of sub-basins in flooding intensity by using HEC-HMS Hydrological Model Case Study (Taleghan Watershed), Water Engineering Conference, Tehran, Iran. 12 p. (In Persian).
- 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.
- Kafle, T.P. Hazarika, M.K. Karki, S. Shrestha, R.M. Sharma R. and Samarakoon, L (2007). Basin scale rainfall-runoff modeling for flood forecasts.
- Kamali, M.; Soleimani, K.; Shahedi; K.; Nowshahri; A.; Gomrokchi, A. (2015) Determination of flood points and prioritization of sub basins in the Barajin Basin of Qazvin by using the HEC-HMS Model and Geographic Information System integration, *Iranian Journal of Watershed Management Sciences and Engineering* 9 (29): 34-27 (In Persian).
- Mahdavi, Mohammad (1381). *Applied Hydrology*. Volume 2, Tehran University Press, 440 P. (In Persian).
- Mahdavi, Mohammad (2002). *Applied Hydrology*. Volme 1. Third edition, Tehran University Press, 437 p. (In Persian).
- Malekian, A (2002). Investigating and evaluating the efficiency and calibration of curve number method in runoff estimation, MSc. Thesis in Watershed Management, Tehran University, 179 p. (In Persian).
- 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.
- Nouri, F.; Behmanesh, J.; Mohammad-Nejad, B.A.; Rezaie, H (2012) Evaluation of WMS / HEC-HMS Model in Flood Forecasting in Ghorveh Basin, *Soil and Water Resource Research Journal*, 19 (4): 201-210 (In Persian).
- Patila, J.P., Sarangi, A., Singh, A.K. and Ahmad, T (2008). Evaluation of modified CN methods for watershed runoff estimation using a GIS-based interface. *Bio systems engineering*, 100:137-146.
- Rafiei-Sardouei, E; Khalighi-Sigarodi, S.; Azar, A.; Rostami-Khalaj, M (2015). HEC-HMS model application in prioritizing the flood potential of the Karaj Dam Basin, *Journal of Watershed Management Sciences and Engineering* 9 (28): 53-56 (In Persian).

- Razavi, N.; Mahdavi, M.; Mohseni-Saravi, M.; Motamed-Vaziri, B (2013). Evaluation of the efficiency of curve number methods and reasoning method for estimating peak flood discharge (Wardij watershed). Second National Conference on Sustainable Development of Agriculture and the Environment, Hamedan, 9 p. (In Persian).
- Razavizadeh, S.; Shahedi, K (2016). Prioritization of Taleghan watersheds floodplain by combining AHP and TOPSIS, *Journal of Iranian Natural Ecosystems*, 7 (4): 33-46 (In Persian).
- Sabzevari, T.; Ardakaniyan, R.; Shamsaee, A.; Talebi, A (2009). Estimation of flood risk for non-statistics watersheds using HEC-HMS and GIS (Case Study: Kasilian Watershed). *Water Resources Engineering, Islamic Azad University, Marvdasht Branch*, 2 (4): 1-11 (In Persian).
- Sadeghi, H.R.; Mahdavi, M.; Razavi, L (2008). Calibration of the maximum reserve index and curve number of the SCS model in the basements of Emameh, Kasilyan, Darjizin and Khanmirza watersheds. *Journal of Watershed Management Sciences and Engineering, Iran Watershed Organization*, 2 (4): 12-24 (In Persian).
- Saghafian, B.; Farazjoo, H (2007) Determination of Flood Generation Areas and Flood Prioritization of Hydrological Units in Golestan Dam, *Journal of Watershed Management Sciences and Engineering*, No. 1. Page 11 – 1 (In Persian).
- Shi, P. J., Yuan, Y, Zheng, J, Wang, J. A., Ge Y. and Qiu, G.Y ( 2007). The effect of land use/cover change on runoff in Shenzhen region, China. *Catena*, (69):31-35.
- 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.
- Soleimani-Sardou, F.; Soltani-Kupayee, S.; Salajegheh, A (2012). Selection of Proper Flood Index by using Rainfall-Runoff Model and GIS and RS Techniques (Case Study: Jiroft Dam Basin), *Journal of Watershed Management* (4) 8): 105-90 (In Persian).
- Vaezi, A.; Abbasi, M (2012). Efficiency of Runoff Curve Number (SCS-CN) Method for Estimating Runoff in Taham Chay Watershed, Northwest of Zanjan. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources Technology, Isfahan University of Technology*, 16 (61): 209-219 (In Persian).
- Zahtebian, Gh; Ghodousi, J; Ahmadi, H; Khalilizadeh, M (2009). Investigating the priority of flood potential in the watersheds and determining the flood producing areas in it (Case study: Marmo Watershed - Fars Province), *Physical Geography Quarterly*, 2 (6): 1-13 (In Persian).