

## پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در رودخانه سرباز استان سیستان و بلوچستان

سکینه دامادی<sup>۱</sup>، عبدالحمید دهواری<sup>۲</sup>، محمدرضا دهمرده قلعه‌نو<sup>۳\*</sup> و محبوبه ابراهیمیان<sup>۴</sup>  
<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، <sup>۲</sup> استادیار، دانشکده آب و خاک، دانشگاه  
 زابل و <sup>۴</sup> دکتری منابع آب، پژوهشکده تالاب بین‌المللی هامون، دانشگاه زابل

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۵

### چکیده

سیلاب هر ساله باعث تخریب ساختار اقتصادی و اجتماعی جوامع و خسارات مالی و جانی فراوانی می‌شود. یکی از عوامل موثر در بروز سیلاب‌ها توسعه شهرنشینی در اطراف رودخانه‌ها می‌باشد. در اثر تغییرات اقلیمی، طی دهه‌های اخیر، استان سیستان و بلوچستان با آب و هوای گرم و خشک، مستعد وقوع پدیده سیل بوده است. هدف از پژوهش حاضر، پهنه‌بندی سیلاب حوزه آبخیز سرباز با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS می‌باشد. برای انجام پژوهش، ابتدا با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، نقشه کاربری اراضی و شماره منحنی رواناب، مدل SCS منطقه تعیین شد. در ادامه، دبی سیلاب حوضه با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی به ترتیب منجر به وقوع دبی‌های اوج سیلاب با میزان ۳۳۷۶/۸، ۴۵۶۳/۷، ۵۴۶۲/۴ و ۶۳۵۹/۳ متر مکعب بر ثانیه برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در حوضه مورد مطالعه شد. به منظور ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد که نتایج آن‌ها حاکی از کارایی مطلوب مدل است. در ادامه، نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوزه آبخیز سرباز محدوده شهر راسک با دوره بازگشت‌های مورد نظر با کمک مدل هیدرولیکی HEC-RAS تهیه شد. نتایج نشان داد که با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۳۶۶/۸۶، ۳۹۷/۱۲، ۴۴۹/۹۵ و ۵۸۰/۷۸ هکتار مساحت پهنه سیلاب حوزه آبخیز سرباز محدوده شهر راسک افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** حوزه آبخیز، حریم رودخانه، دبی، دوره بازگشت، رواناب

### مقدمه

به مناطق مسکونی، صنعتی و راه‌های ارتباطی به مزارع، مراتع و جنگل‌ها و تخریب آن‌ها می‌باشد. این امر، باعث افزایش مناطق نفوذناپذیر و در نتیجه افزایش سرعت و حجم سیلاب می‌شود (Hosseini و Naddaf، ۲۰۱۵). یکی از روش‌های مدیریت و کاهش، مدل‌سازی و پیش‌بینی سیل قبل از وقوع آن است. از این‌رو، با توجه به اهمیت موضوع، دستیابی به راه‌های

سیل هر ساله منجر به خسارات جانی و مالی فراوانی در سطح جهان می‌شود. با وجود تلاش‌های انجام‌شده برای مهار سیل، بشر نتوانسته به‌طور کامل از خسارات ناشی از آن در امان بماند. با افزایش جمعیت جهان، نیاز بشر به زمین و منابع طبیعی افزایش پیدا کرده است. یکی از نتایج این مسأله، تجاوز

خطرناک‌تر خواهد بود. با توجه به کمبود ایستگاه‌های آب‌سنجی در سطح زیرحوضه‌ها و کم بودن آمار و اطلاعات ثبت شده از سیل در حوزه‌های آبخیز کشور، به‌طور عملی نمی‌توان شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها را به تنهایی از تجزیه و تحلیل داده‌های موجود استنتاج کرد (Darabi و همکاران، ۲۰۱۴). Nourkarami و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز وردآورد در غرب استان تهران با استفاده از مدل HEC-HMS اثر سدهای تأخیری در کنترل و مهار سیلاب رودخانه‌های شهری را مورد بررسی قرار دادند.

برای این منظور، محققان مذکور ابتدا، پس از محاسبه سیلاب طراحی و روندیابی آن، تأثیر سیلاب در پایین‌دست را بدون در نظر گرفتن مخازن و سپس، در نظر گرفتن مخازن در بالادست حوضه مورد مطالعه، عملکرد این مخازن در کاهش هیدروگراف سیلاب ورودی را بررسی کردند. نتایج پژوهش این محققان نشان داد که با استفاده از سدهای تأخیری میزان دبی خروجی از حوضه وردآورد به‌شدت کاهش می‌یابد. اثر کاهش دبی پیک سیل ناشی از احداث سدهای تأخیری در حوضه وردآورد برای سیلاب با دوره‌های بازگشت دو، پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله به‌ترتیب ۹۱/۴، ۵۸/۱، ۸۹/۹، ۱۴۱/۷، ۹۲ و ۲۸/۵ درصد است. همچنین، با افزایش دوره بازگشت سیل، تأثیر این مخازن در کاهش سیلاب خروجی حوضه، کاهش می‌یابد. Ghazizadeh و همکاران (۲۰۱۶) نسبت به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب اراضی کشاورزی و مکان مناسب برای ایجاد اراضی پایدار کشاورزی برای بازه‌ای از رودخانه هلیل‌رود شهرستان جیرفت اقدام کردند. مطالعه آن‌ها به طول ۳۰ کیلومتر با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و GIS انجام شده است و برای سیل با دوره بازگشت ۲۵ سال در نرم‌افزار HEC-RAS میزان سیل گرفتگی اراضی را مشخص کردند. Esmail و همکاران (۲۰۱۵) به پهنه‌بندی سیلاب رودخانه گاوی در استان ایلام با استفاده از HEC-RAS و GIS پرداختند.

نتایج نشان داد که رودخانه گاوی با توجه به بستر کم‌عرض و شیب جانبی، تنها ظرفیت پذیرش دبی با دوره بازگشت زیر ۲۰ سال را دارد. علاوه بر این، تغییرات کاربری اراضی و ساخت‌وساز در امتداد حریم

مقابل با خسارت این بلای طبیعی به شدت احساس می‌شود. با اعمال مدیریت یکپارچه حوضه‌ها می‌توان تا حدود زیادی خسارت‌های مالی و جانی سیل را کاهش داد (Emamidehkharghani و همکاران، ۲۰۱۱). هنگامی که اجرای اقدامات پیشگیرانه مناسب نباشد، آنگاه برای کاهش اثرات سیلاب، افزایش آمادگی در مقابل سیلاب مد نظر قرار می‌گیرد (Thielen و همکاران، ۲۰۰۹). آمادگی در برابر وقوع سیلاب نیز نیازمند پیش‌بینی سیلاب و تبدیل این پیش‌بینی‌ها به اطلاعات هشداردهنده زودهنگام، با ارزش است. در واقع فاصله زمانی بین رخداد بارش و دبی پیک سیل، می‌تواند با کاهش زمان تأخیر در پیش‌بینی، به یک زمان مهم آماده‌سازی برای حفاظت از زندگی و اموال تبدیل شود. بنابراین، پیش‌بینی سیلاب یکی از موثرترین اقدامات مدیریت ریسک است (Haile و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی‌ها نشان می‌دهد که علت افزایش خسارات سیل در دنیا، افزایش تکرار و بزرگی سیل‌ها نبوده است، بلکه تشدید استفاده از اراضی سیلاب‌دشت‌ها، یعنی تخریب شدید منابع طبیعی به‌صورت بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و مراتع و محدودسازی مقطع رودخانه‌ها از طریق ایجاد مناطق مسکونی، پل‌ها و غیره را می‌بایست به‌عنوان عامل اصلی ایجاد سیلاب‌های مخرب به‌شمار آورد (Bozorghaddad و همکاران، ۲۰۱۴). در واقع اولین اقدامی که برای کاهش خطر سیل مطرح می‌شود، مهار سیل در سر منشاء آن یعنی زیرحوضه‌های آبخیز است. تعیین مناطق مستعد سیلاب به‌منظور مدیریت حوزه آبخیز و کاهش از دست رفتن پتانسیل‌های زندگی در آن حائز اهمیت بسیار است (Xiao و همکاران، ۲۰۱۷).

مسلماً برای انجام این کار، نیاز به شناسایی مناطق سیل‌خیز در داخل حوضه می‌باشد، زیرا به‌دلیل وسعت زیاد و گستردگی حوزه‌های آبخیز انجام عملیات اجرایی و اصلاحی در سراسر حوضه امکان‌پذیر نبوده، حتی عدم بررسی دقیق، می‌تواند امکان تشدید دبی اوج را با تغییر هم‌زمانی دبی‌های اوج زیر حوضه‌ها سبب شود. لذا، باید به طریقی مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند، شناسایی شوند، تا امکان عملیات اجرایی و اصلاحی در سطوح کوچک‌تر و

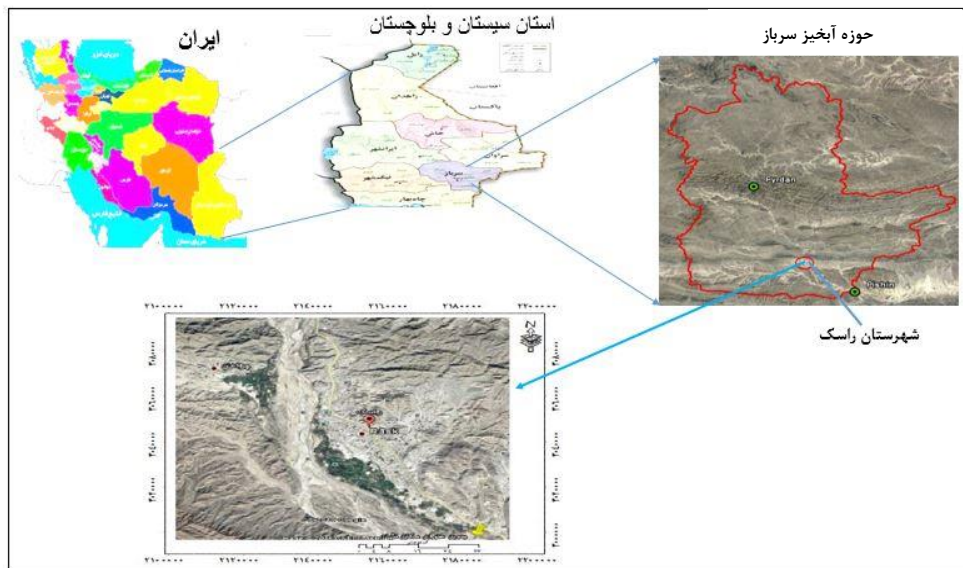
منظور است که نقشه‌های پهنه‌بندی سیل اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با طبیعت سیلاب‌ها و اثرات آن بر اراضی دشت سیلابی و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهند. در نتیجه، امکان ارسال هشدارهای مناسب در مواقع خطر سیل و تسهیل عملیات امداد و نجات فراهم می‌شود. از دیگر کاربردهای نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، تعیین حدود گذرگاه سیل و اراضی سیل‌گیر حاشیه می‌باشد. در این پژوهش، با پهنه‌بندی سیلاب حوزه آبخیز سرباز با استفاده از مدل HEC-RAS وضعیت سیلابی شدن رودخانه طغیانی سرباز مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

### مواد روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** حوزه آبخیز سرباز، حوضه بالادست سد پیشین است. این حوضه، از زیرحوضه‌های رودخانه‌های بلوچستان است که در محدوده استان و بین مختصات جغرافیایی  $۵۶^{\circ} ۰۰'$  تا  $۳۵^{\circ} ۶۱'$  شرقی و  $۲۶^{\circ} ۰۵'$  تا  $۲۷^{\circ} ۰۵'$  شمالی واقع شده است. از شرق به کشور پاکستان، از جنوب به باهوکلالت و دشتیاری، از غرب به حوزه آبخیز کاجو و از شمال به سلسله کوه‌های مکران محدود می‌شود. این حوضه، در بالادست ایستگاه هیدرومتری پیشین دارای ارتفاع متوسط ۹۳۲ متر از سطح دریا می‌باشد. مساحت این حوضه  $۶۳۲۴/۲۹$  کیلومتر مربع و شیب متوسط آن  $۱۶/۸۳$  درصد است. رودخانه سرباز تنها رودخانه دائمی در بلوچستان است که اراضی ساحلی را مشروب می‌کند. دبی رودخانه سرباز بیشتر از نواحی شمال حوضه متأثر است، دبی پایه رودخانه سرباز بسیار کم و دبی سیلابی آن حتی برای دوره‌های بازگشت پایین قابل توجه است. این رودخانه دارای بستر بزرگ و بستر کوچک می‌باشد. آبدهی رودخانه سرباز منطبق بر رژیم بارش در مقطع تابستان و زمستان است، بیشینه شدت جریان تابستانه متأثر از بارندگی‌های مونسون است و بیشینه شدت جریان زمستانه ناشی از بارندگی‌های جبهه‌های سرد سیبری و مدیترانه است. بارندگی سالانه حوضه، کوتاه‌مدت و شدید است و رژیم رودخانه در عین داشتن جریان پایه ضعیفی، دارای رفتار سیلابی است. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سرباز را نشان می‌دهد.

رودخانه می‌تواند باعث افزایش دبی پیک سیلاب‌ها و در نتیجه افزایش سطح و عمق پهنه‌های سیل‌گیر شود. Khatatak و همکاران (۲۰۱۶) برای برآورد میزان سیل‌گرفتگی در حاشیه رودخانه کابل از نرم‌افزارهای HEC-RAS و GIS استفاده کردند و برای بررسی توزیع آماری داده‌های رودخانه کابل توزیع‌های احتمالاتی لوگ نرمال، گامبل و لوگ پیرسون تیپ ۳ را به کار بردند و همچنین، برای بررسی دقت شبیه‌سازی با مدل HEC-RAS و GIS دبی سیل ۲۰۱۰ افغانستان را به‌عنوان ورودی به مدل معرفی کردند و با مقایسه نتایج مدل با تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۱۰ دقت مدل تأیید شد.

Manners و همکاران (۲۰۱۴) تغییرات عرض رودخانه در جهت جریان، برای رودخانه Yampa کلرادوی غربی را به‌وسیله HEC-RAS بررسی کردند و مناطقی از حریم رودخانه که به‌وسیله پوشش گیاهی اشتغال شده بودند را شناسایی کردند. Karamouz و همکاران (۲۰۱۴) پهنه‌بندی سیلاب رودخانه Bronx در شهر نیویورک را با استفاده از HEC-RAS و Arc-GIS انجام دادند. نتایج نشان داد که وسعت پهنه سیلاب در پروفیل ۱۰۰ ساله می‌تواند تا ۵۰۰ فوت برسد. Zope و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تأثیر سیل بر مناطق ساحلی با استفاده از HEC-HMS و HEC-RAS در شهر بمبئی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش جزئی در اوج و حجم رواناب در هنگام جزر و مد می‌تواند خسارات زیادی به این مناطق وارد کند. با توجه به این‌که رودخانه سرباز یکی از رودخانه‌های مهم سیلابی منطقه راسک سیستان و بلوچستان است، از لحاظ سکونتگاهی و گردشگری، یکی از مهمترین مناطق جنوب استان سیستان و بلوچستان بوده، دارای اراضی مستعد کشاورزی است. این پژوهش از نوع کاربردی بوده، اولین بار است که کارایی مدل HEC-RAS در مناطق جنوبی استان سیستان و بلوچستان با شرایط اقلیمی خاص خود یعنی مناطق خشک و رودخانه‌های طغیانی برای پهنه‌بندی سیل استفاده می‌شود، که در صورت کارا بودن این مدل برای پهنه‌بندی سیلاب مناطق خشک با رودخانه‌های طغیانی، می‌تواند الگویی برای سایر مناطق مشابه باشد. کاربردی بودن پژوهش بدان



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

خوبی می‌تواند سازه‌های عرضی هم‌چون پل، سدهای انحرافی و مخزنی و سرریز را مدل کند. همچنین، مدلی یک بعدی برای جریان دائمی و غیردائمی است (Zeraatkar و همکاران، ۲۰۱۶).

**واسنجی مدل HEC-HMS:** در این پژوهش، برای واسنجی مدل، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری پیشین، با استفاده از هشت تابع توزیع معمول (نرمال، لوگ نرمال دو و سه پارامتری، پیرسون تیپ ۳ و لوگ پیرسون تیپ ۳، گامای دو و سه پارامتری و گمبل) و آزمون نکویی برازش کلموگروف-اسمیرونوف در برنامه Easy Fit، تابع توزیع مناسب برای ایستگاه مورد مطالعه انتخاب شد که بر اساس نتایج حاصل، تابع توزیع احتمالاتی گاما دو متغیره مناسب‌ترین تابع است. بر این اساس، مقادیر دبی بیشینه لحظه در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال محاسبه شد. برای انطباق هر چه بیشتر مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی، از واسنجی دستی استفاده شد. برای این منظور، مقادیر مربوط به شماره منحنی و زمان تاخیر، از طریق آزمون و خطا تغییر داده شده، چندین بار اجرای مدل، مقادیر شبیه‌سازی شده بیشینه دبی لحظه‌ای به مقادیر بیشینه دبی لحظه‌ای مشاهداتی نزدیک شد. به این ترتیب، امکان واسنجی مدل با استفاده از داده‌های بیشینه دبی لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری پیشین فراهم شد. پس از واسنجی مدل بارش-رواناب HEC-HMS، با استفاده از معیارهای

**روش پژوهش:** داده‌های مورد نیاز شامل داده‌های اقلیمی (بارش) و هیدرومتری از ایستگاه‌های هیدرومتری پیشین و پیردان و ایستگاه باران‌سنجی کجدر سر باز و نقشه‌های کاربری اراضی و شماره منحنی رواناب می‌باشد. نرم‌افزارهای مورد استفاده در پژوهش شامل مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای برآورد دبی اوج سیلاب حوزه آبخیز سر باز با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله و مدل هیدرولیکی HEC-RAS برای پهنه‌بندی سیلاب حوزه با دوره بازگشت‌های ذکر شده می‌باشد.

**مدل HEC-HMS:** مدل کامپیوتری HEC-HMS نسخه جدید مدل HEC-1 برای شبیه‌سازی بارش-رواناب است که به‌وسیله مرکز هیدرولوژی مهندسی آمریکا در سال ۱۹۶۸ ارائه شده است. این مدل، حوزه آبخیز را به‌عنوان یک سامانه به‌هم پیوسته با مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد. هر مؤلفه مدل یک جنبه از فرایند بارش-رواناب را در داخل بخشی از حوزه که معمولاً به‌عنوان زیرحوضه در نظر گرفته می‌شود، شبیه‌سازی می‌کند.

**مدل HEC-RAS:** نرم‌افزار HEC-RAS به‌منظور انجام محاسبات هیدرولیکی یک بعدی برای شبکه کاملی از کانال‌های طبیعی و مصنوعی طراحی شده است و دارای قابلیت‌های مختلف و توانایی گرافیکی در مورد شبیه‌سازی پدیده‌های رودخانه‌ای است و به

مختلف و ضرایب زبری مانینگ) و وارد کردن آن‌ها به مدل HEC-RAS است.

**شرایط مرزی:** در این مدل، شرایط جریان به صورت مختلط تعریف شد. بنابراین، شرایط مرزی در بالادست و پایین دست بازه مطالعاتی به صورت عمق نرمال در نظر گرفته شد که مستلزم وارد کردن شیب خط انرژی و همچنین، دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله که با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS در محل مورد نظر به دست آمد. همچنین، در این پژوهش، چون شیب خط انرژی موجود نبود، از شیب کف رودخانه استفاده شد که بدین منظور از روی پروفیل طولی در بالادست و پایین دست رودخانه این شیب به دست آمد. در مرحله پنجم، پس از اجرای مدل HEC-RAS، نتایج خروجی به محیط ArcGIS برگردانده و پهنه‌های سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف نمایش داده می‌شود.

**تعیین کاربری اراضی حوضه:** کاربری اراضی، یک خصوصیت مهم در فرایند رواناب است که بر روی نفوذ، فرسایش و تبخیر و تعرق اثر می‌گذارد. مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی به داده‌های مکانی کاربری اراضی حوضه که به‌طور گسترده به‌وسیله تکنیک‌های GIS و RS تعیین می‌شوند، احتیاج دارند (Melesse و Shih, ۲۰۰۲). در این پژوهش، از نقشه کاربری اراضی برای تهیه نقشه شماره منحنی حوضه استفاده شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سرباز از تصاویر ماهواره‌ای داده‌های لندست ۸ سنجنده OLI استفاده شد. بر این اساس، قبل از برداشت نمونه‌های تعلیمی، وضعیت عمومی منطقه به خوبی مورد بررسی قرار گرفت. سپس، نمونه‌های تعلیمی هر کاربری در محیط برنامه Google Earth برداشت و در محیط برنامه ENVI 5.3 فراخوانی شد. سپس، با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم بیشینه احتمال، نقشه کاربری اراضی تولید شد. در شکل ۲، نقشه کاربری اراضی و در جدول ۱، مشخصات کاربری‌های حوزه آبخیز سرباز نشان داده شده است. بر این اساس، بیشترین درصد مساحت اراضی مراتع ضعیف (۵۴ درصد) و کمترین آن مربوط به سطوح آبی (۰/۱ درصد) تعلق دارد.

آماري نش-ساتکلیف (NS) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) روابط (۱) و (۲) درصد خطا مقادیر بیشینه دبی لحظه‌ای مشاهداتی مورد بررسی قرار گرفت.

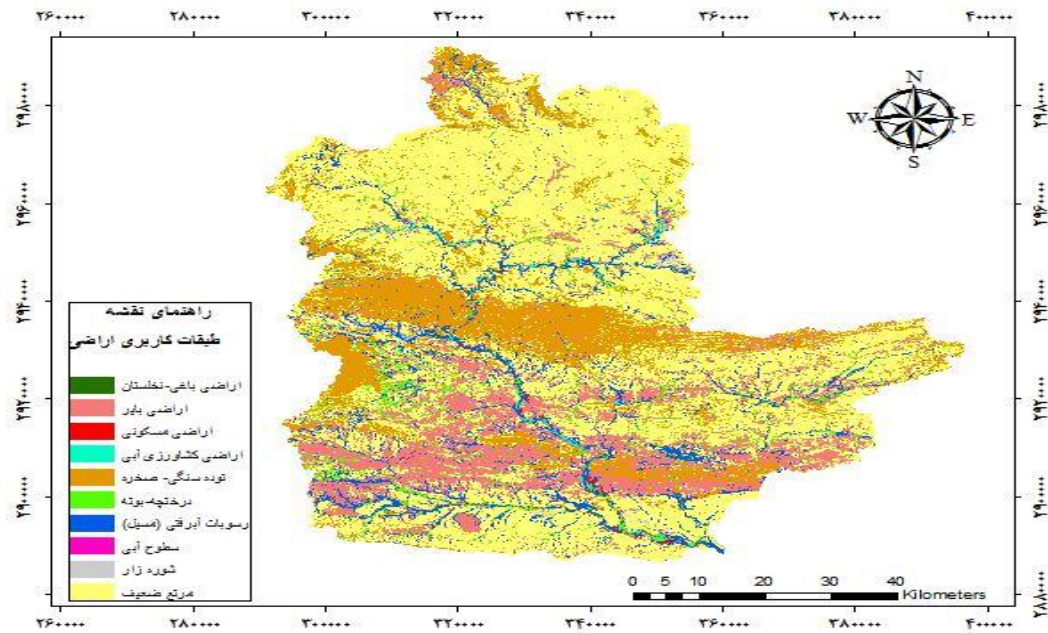
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{avo})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2} \quad (2)$$

که در آن‌ها،  $Q_{oi}$  داده‌های مشاهداتی،  $Q_{si}$  داده‌های شبیه‌سازی شده،  $Q_{avo}$  میانگین داده‌های مشاهداتی و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

**برآورد دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله:** در آمار و احتمالات تعداد بسیار زیادی توزیع احتمالاتی وجود دارد که برخی از آن‌ها برای برازش داده‌ها مورد استفاده در هیدرولوژی به کار گرفته می‌شود. در این مطالعه، از هشت تابع توزیع معمول در هیدرولوژی (نرمال، لوگ نرمال دو و سه پارامتری، پیرسان تیپ ۳ و لوگ پیرسون تیپ ۳، گامای دو و سه پارامتری و گمبل) استفاده شد (Mahdavi, ۲۰۰۹). همچنین، برای برآورد پارامترهای هر یک از توابع توزیع با استفاده از نرم‌افزار Easy Fit از روش بیشینه درست‌نمایی (MLE) استفاده شد.

**مراحل انجام پهنه‌بندی سیل:** در مطالعه سیلاب دشت هر رودخانه، اولین مرحله تهیه نقشه رقومی منطقه با مقیاس مناسب، برای شبیه‌سازی رودخانه و اراضی اطراف می‌باشد که با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر مدل TIN رودخانه یا به عبارتی مدل سه بعدی رودخانه تهیه شد. در مرحله بعد، شبیه‌سازی هندسی رودخانه به‌وسیله الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط ArcGIS و ایجاد فایل‌های RAS است. در این مرحله، لایه‌های اطلاعاتی ایجاد شده، شامل خط مرکزی جریان، سواحل کانال اصلی، خط مرکزی جهت جریان، خطوط برش مقاطع عرضی می‌باشد. مرحله سوم، انتقال اطلاعات تولید شده در GIS به نرم‌افزار HEC-RAS است. مرحله چهارم، باز کردن و تکمیل مشخصات هندسی رودخانه (مشخصات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جریان رودخانه از قبیل شرایط مرزی محدوده مورد مطالعه، نوع رژیم جریان، دبی رودخانه با دوره بازگشت‌های



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سرباز

جدول ۱- مشخصات کاربری اراضی حوزه آبخیز سرباز

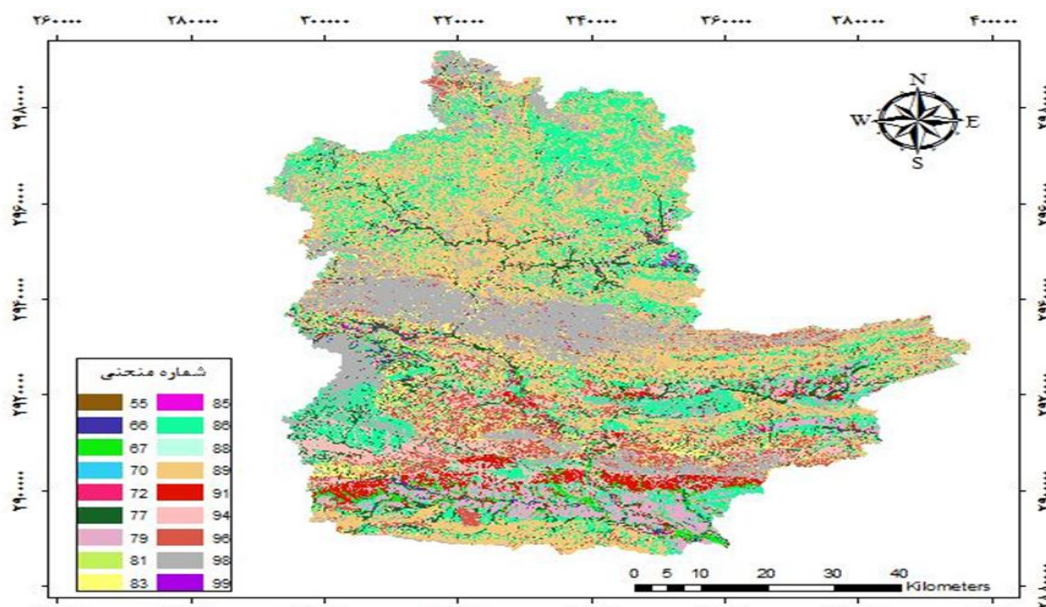
کاربری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد کاربری
باغ (عمدتاً نخلستان)	۴/۹۸	۰/۰۷
اراضی کشاورزی آبی عمدتاً بر روی خطوط تراز	۳۸/۳۷	۰/۶۱
مراعات با چرای سنگین و پوشش کم‌تر از ۵۰ درصد	۳۴۱۸/۳۲	۵۴/۰۵
درختچه (عمدتاً در داخل مسیل)	۲۰۶/۵۶	۳/۲۷
اراضی بایر و فاقد پوشش	۱۰۹۹/۴۹	۱۷/۳۹
اراضی مسکونی (عمدتاً روستایی)	۲۱/۶۲	۰/۳۴
مناطق توده سنگی و صخره‌ای	۱۱۰۲/۴۳	۱۷/۴۳
اراضی شوره‌زار	۳۰/۲۹	۰/۴۸
رسوبات آبراهه‌ای (مسیل)	۴۰۱/۳۸	۶/۳۵
سطوح آبی (مخزن سدها)	۰/۷۱	۰/۰۱

نقشه شماره منحنی: شماره منحنی رواناب (CN) نمایه خصوصیات حوضه از نظر نفوذپذیری است که در محاسبات مربوط به رواناب حائز اهمیت است. این شاخص با توجه به جدولی که به‌وسیله سازمان حفاظت خاک ایالات متحده بر اساس نوع بهره‌برداری از زمین، عملیات زراعی و یا کارهای اصلاحی، وضعیت هیدرولوژیکی و گروه‌های هیدرولوژیکی تهیه می‌شود (Mahdavi, 2002) و مقدار آن بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. در CN برابر صفر هیچ‌گونه رواناب از بارندگی حاصل نشده، در CN برابر ۱۰۰ کل بارش در سطح زمین جریان یافته، ارتفاع رواناب برابر ارتفاع بارندگی خواهد بود. CN از ترکیب دو عامل گروه هیدرولوژیکی و کاربری اراضی در هر نقطه از حوضه برآورد می‌شود. با تلفیق نقشه‌های مذکور بر اساس جدول ۲، در نهایت نقشه رستری شماره منحنی با قدرت تفکیک ۳۰ متر تهیه شد که در شکل ۳ نشان داده شده است. CN کل حوضه که از میانگین‌گیری وزنی محاسبه شد، برابر ۸۹ است که نشان می‌دهد نفوذپذیری کم و حجم رواناب در این حوضه زیاد است.

نقشه شماره منحنی: شماره منحنی رواناب (CN) نمایه خصوصیات حوضه از نظر نفوذپذیری است که در محاسبات مربوط به رواناب حائز اهمیت است. این شاخص با توجه به جدولی که به‌وسیله سازمان حفاظت خاک ایالات متحده بر اساس نوع بهره‌برداری از زمین، عملیات زراعی و یا کارهای اصلاحی، وضعیت هیدرولوژیکی و گروه‌های هیدرولوژیکی تهیه می‌شود (Mahdavi, 2002) و مقدار آن بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. در CN برابر صفر هیچ‌گونه رواناب از بارندگی حاصل نشده، در CN برابر ۱۰۰ کل بارش در

جدول ۲- شماره منحنی به ازای تلفیق کاربری و گروه هیدرولوژیکی خاک

شماره منحنی بر اساس گروه هیدرولوژیکی			کاربری
B	C	D	
۵۵	۷۰	۷۷	باغ (عمدتا نخلستان)
۷۲	۸۱	۸۵	اراضی کشاورزی آبی عمدتا بر روی خطوط تراز
۷۹	۸۶	۸۹	مراتع با چرای سنگین و پوشش کمتر از ۵۰ درصد
۶۶	۷۷	۸۳	درختچه (عمدتا در داخل مسیل)
۹۱	۹۴	۹۶	اراضی بایر و فاقد پوشش
۹۴	۹۴	۹۴	اراضی مسکونی (عمدتا روستایی)
۹۸	۹۸	۹۸	مناطق توده سنگی و صخره‌ای
۷۷	۸۵	۸۸	اراضی شورزار
۶۷	۷۷	۸۳	رسوبات آبراهه‌ای (مسیل)
۹۹	۹۹	۹۹	سطوح آبی (مخزن سدها)



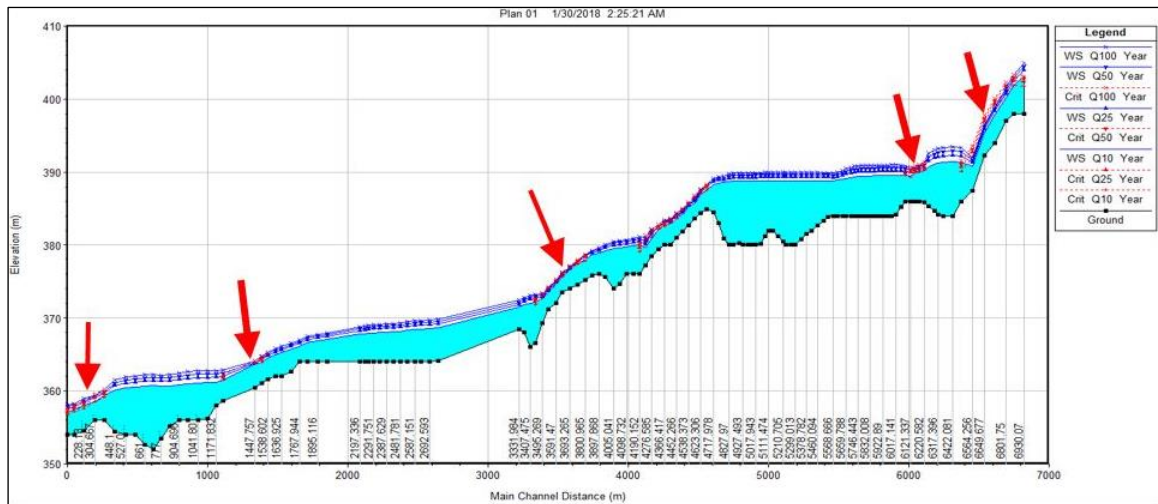
شکل ۳- نقشه شماره منحنی حوزه آبخیز سرباز

برشی و ... به ازای سیلاب‌های داده شده قابل استخراج می‌باشد. نیمرخ طولی رودخانه نیز میزان بالآمدگی سیلاب را در قسمت‌های مختلف رودخانه برای دبی‌های مختلف نشان می‌دهد و همچنین، نقاط مشخص شده سطح آب بحرانی را بیان می‌کند که در این مقاطع هرچه عرض سطح مقطع کم باشد، سرعت جریان، شیب خط انرژی و مقدار عدد فرود هم بیشتر از یک می‌شود و در این مناطق پرش هیدرولیکی وجود داشته، در پایین‌دست انتظار ایجاد فرسایش بستر رودخانه می‌رود که برای بازه مطالعه در شکل ۴ آورده شده است.

**تهیه مدل هیدرولوژیکی حوضه:** با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و با استفاده از برنامه الحاقی Arc-Hydro و HEC-GeoHMS مدل هیدرولوژیکی حوضه تهیه شد.

### نتایج و بحث

با اجرای مدل HEC-RAS، تراز سطح آب در کلیه مقاطع داده شده قابل محاسبه بوده، علاوه بر تراز سطح آب کلیه اطلاعات مورد نیاز نظیر سرعت جریان در آبراهه اصلی و سیلاب دشت، عدد فرود، تنش



شکل ۴- پروفیل طولی سطح آب در شرایط دبی با دوره بازگشت‌های مورد مطالعه

بیشینه بارش روزانه در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ از طریق نرم‌افزار Easy Fit مورد محاسبه قرار گرفت که در نهایت، وارد نرم‌افزار HEC-HMS شد و بیشینه دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در بازه مورد مطالعه به دست آمد که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

**دبی بیشینه سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در بازه مورد مطالعه:** پس از تحلیل فراوانی بارش، مناسب‌ترین توزیع آماری با آزمون نکویی برازش کلموگروف-اسمیرنوف انتخاب شد. بر این اساس، مناسب‌ترین توزیع آماری برای ایستگاه‌های مورد مطالعه توزیع گامای سه پارامتری است. بنابراین، با استفاده از تابع توزیع گامای سه پارامتری، مقادیر

جدول ۳- بیشینه دبی لحظه‌ای و حجم رواناب خروجی از بازه‌های مطالعاتی در حوزه آبخیز سرباز

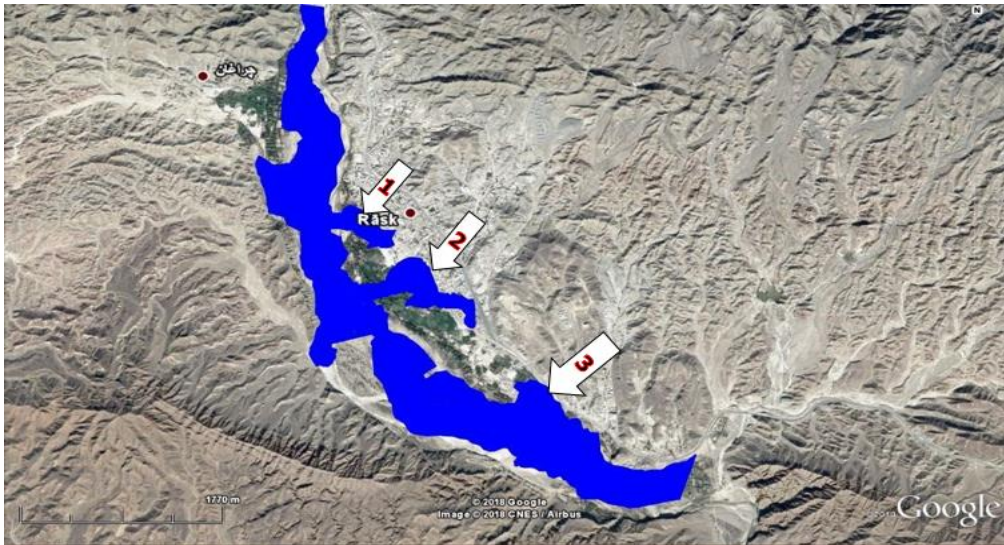
دوره بازگشت	۱۰ سال	۲۵ سال	۵۰ سال	۱۰۰ سال
بیشینه دبی لحظه‌ای ( $m^3s^{-1}$ )	۳۳۷۶/۸	۴۵۶۳/۷	۵۴۶۲/۴	۶۳۵۹/۳
حجم رواناب ( $1000 m^3$ )	۱۷۰۱۳۸	۲۲۴۷۸۰/۴	۲۶۶۰۵۴/۸	۳۰۷۲۳۱/۷

هستند که حریم رودخانه رعایت نشده است و باعث ایجاد خسارت می‌شود. در شکل‌های ۶ الی ۸ با در نظر گرفتن شرایط ثابت، بر وسعت منطقه پهنه سیلاب افزوده می‌شود. همچنین، مساحت پهنه سیلاب در مناطق اطراف رودخانه در جدول ۴ محاسبه شد که نشان می‌دهد با افزایش دوره بازگشت پهنه سیلاب افزایش می‌یابد.

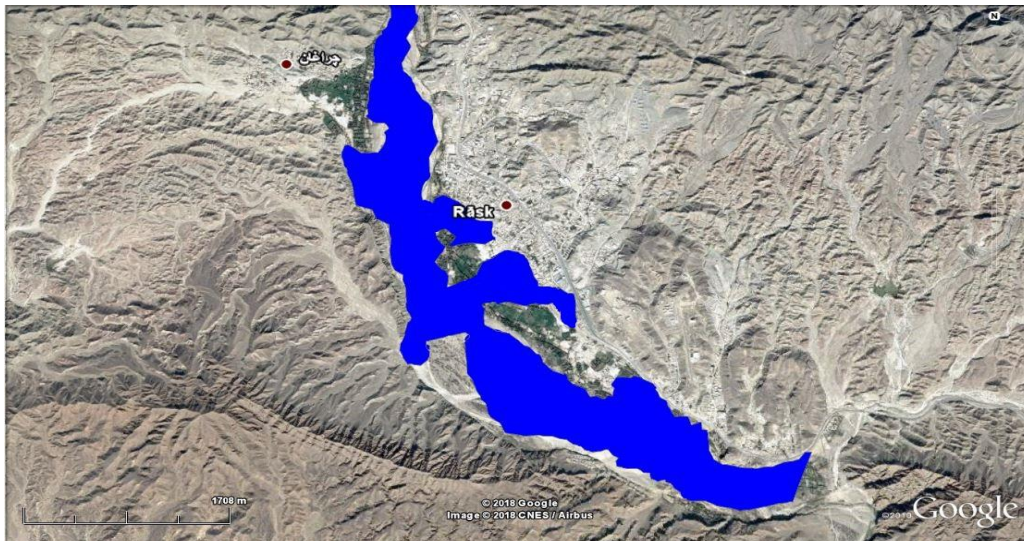
**نتایج واسنجی مدل HEC-RAS:** واسنجی مدل در واقع کنترل صحت اطلاعات و نتایج خروجی از مدل به ازای شرایط رودخانه مورد مطالعه است و به دلیل وجود خطا در پارامترهای تخمین زده شده از قبیل ضریب زبری، قبل از استفاده از مدل، لازم بود به وسیله داده‌های واقعی واسنجی شود.

**نقشه پهنه‌بندی سیلاب در شرایط موجود در نرم‌افزار Google Earth:** نتایج حاصل از مشاهدات سطوح آب برای دوره بازگشت‌های مختلف در نرم‌افزار HEC-RAS از طریق الحاقیه HEC-GeoRAS به Arc-GIS منتقل و نقشه پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در محدوده شهر راسک تهیه شد که در شکل‌های ۵ الی ۸ این نقشه در نرم‌افزار Google Earth نشان داده شده است. در شکل ۵، در دوره بازگشت ۱۰ ساله، در مناطقی که با شماره‌های ۱ و ۲ مشخص شده است، مسیرهایی وجود دارد که به دلیل ارتفاع کمتر نسبت به مناطق مجاور، موجب پسرفت قابل توجه آب به مناطق پهنه‌بندی بیش از میزان پیش‌بینی شده می‌شود و شماره ۳، مناطقی

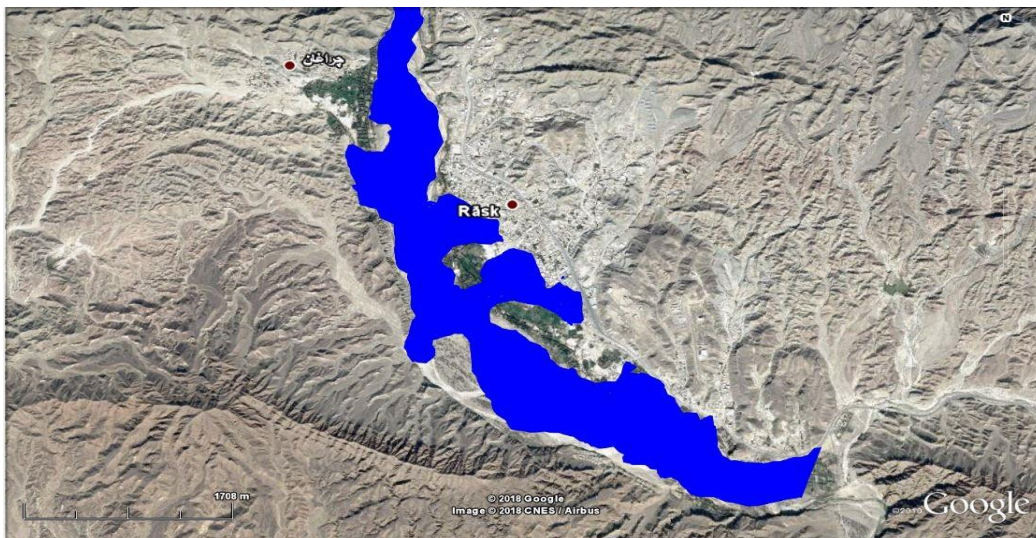




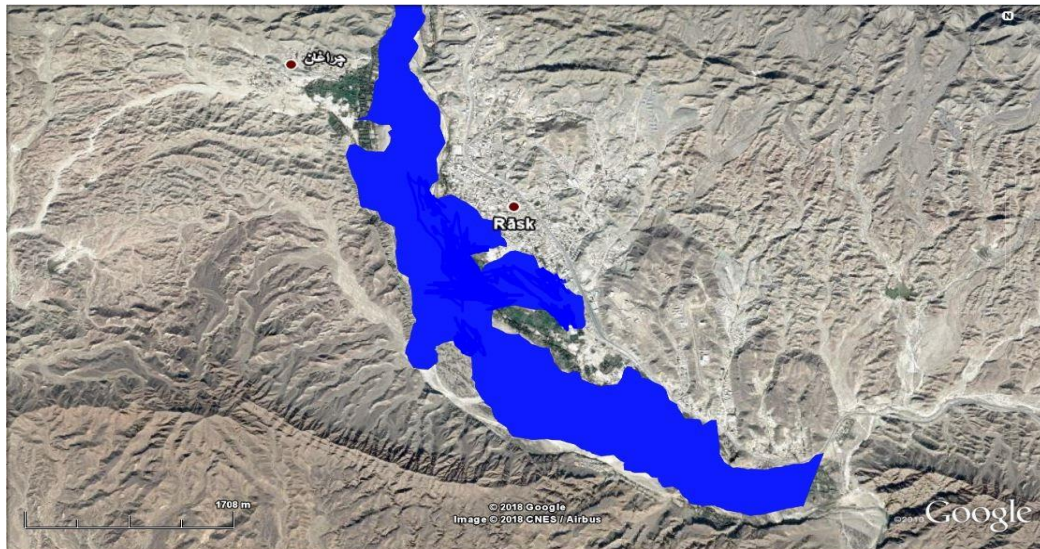
شکل ۵- پهنه‌بندی سیلاب رودخانه سرباز در دوره بازگشت ۱۰ ساله



شکل ۶- پهنه‌بندی سیلاب رودخانه سرباز در دوره بازگشت ۲۵ ساله



شکل ۷- پهنه‌بندی سیلاب رودخانه سرباز در دوره بازگشت ۵۰ ساله



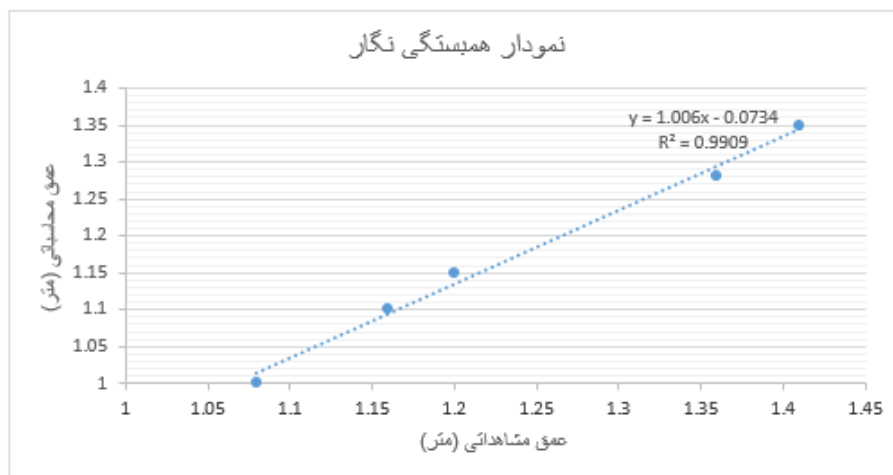
شکل ۸- پهنه‌بندی سیلاب رودخانه سرباز در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

جدول ۴- مساحت پهنه‌سیلاب رودخانه سرباز در محدوده شهر راسک

دوره بازگشت (سال)	مساحت پهنه سیلاب (هکتار)
۱۰	۳۶۶/۸۶
۲۵	۳۹۷/۱۲
۵۰	۴۴۹/۹۵
۱۰۰	۵۸۰/۷۸

بازگشت‌های مختلف شد. شکل ۹، همبستگی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد که هرچه ضریب  $R^2$  به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان از همبستگی بالای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارد. در این پژوهش، با توجه به شکل ۹، مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۹ به دست آمده است.

برای این کار، از داده‌های منحنی دبی اشل موجود در ایستگاه هیدرومتری پیشین استفاده شد. برای واسنجی مدل در رودخانه سرباز دبی‌های مشاهده شده وارد مدل شد و آنقدر ضریب زبری تغییر داده شد تا اختلاف سطح آب مشاهداتی و محاسباتی مدل به کمترین حد خود برسد. بدین ترتیب مدل آماده استفاده برای شبیه‌سازی سیلاب با دوره

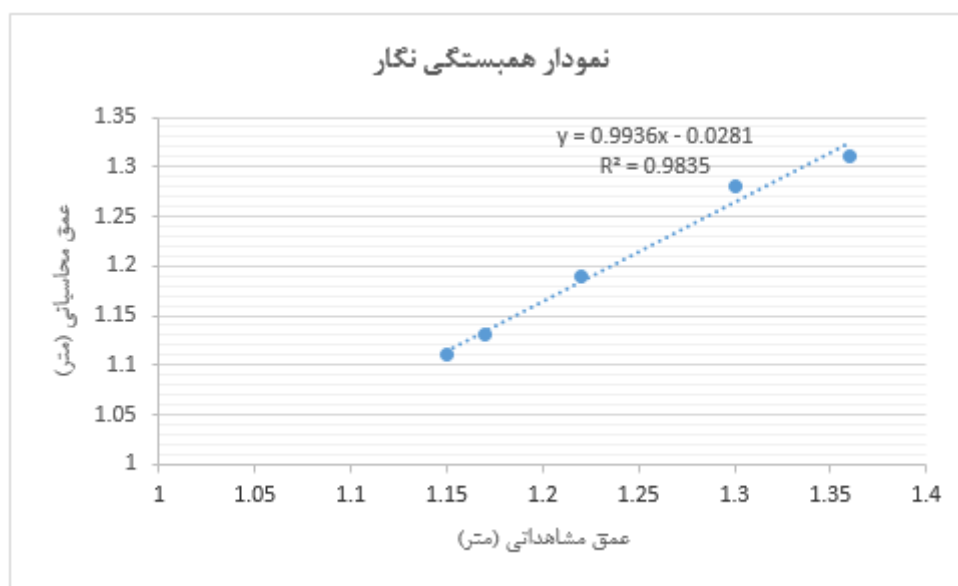


شکل ۹- همبستگی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در مرحله واسنجی

دبی اشل استفاده شد. دبی‌های مشاهداتی وارد مدل شد و عمق آب محاسباتی به دست آمده و این مقادیر با عمق آب مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. شکل ۱۰، همبستگی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد. برای ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی از NS و درصد میانگین مطلق خطا (MAPE) استفاده شد که به ترتیب برابر با ۰/۷۸ و ۳/۵۴ به دست آمد.

پس از واسنجی مدل بارش-رواناب HEC-HMS، با استفاده از معیارهای آماری NS و RMSE، مدل مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج ارزیابی نشان داد که NS، ۰/۹۰ و RMSE، ۱۶/۳۷ است. مقادیر نسبتاً کم معیارهای ارزیابی نشان می‌دهد که کارایی مدل بارش-رواناب HEC-HMS برای حوزه آبخیز سرباز مطلوب است.

**نتایج اعتبارسنجی مدل HEC-RAS:** برای اعتبارسنجی مدل HEC-RAS از داده‌های منحنی



شکل ۱۰- همبستگی داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در مرحله اعتبارسنجی

در این پژوهش، بیشینه سیلاب برآوردی حوضه با روش SCS با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS مورد محاسبه قرار گرفت و نتایج ارزیابی نشان داد که محاسبه پارامترهای مدل با کاربرد نرم‌افزار GIS و سنجش از دور در دقت شبیه‌سازی مدل موثر بوده، در نتیجه با افزایش دوره بازگشت در برآورد دبی، میزان دبی‌ها نزدیک به مشاهداتی بوده، خطای آن کمتر است که با پژوهش‌های Ghazizadeh و همکاران (۲۰۱۶) نیز هم‌خوانی دارد.

نتایج پهنه‌بندی رودخانه سرباز در محدوده شهر راسک نیز نشان داد که توان عبوری سیلاب با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله را دارد و با افزایش دوره بازگشت‌های مختلف به دلیل این که رقوم ارتفاعی اراضی سمت چپ رودخانه نسبت به رقوم

نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سرباز نشان می‌دهد که بیشترین درصد مساحت اراضی مراتع ضعیف و مناطق توده سنگی و صخره‌ای هستند. بنابراین، با توجه به این که متوسط CN کل حوضه برابر ۸۹ است، می‌توان انتظار داشت که توان تولید رواناب در این حوضه زیاد است. از طرفی، نتایج شبیه‌سازی دبی سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ نشان می‌دهد که با افزایش دوره بازگشت، میزان بارش نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، با ثابت بودن میزان تلفات اولیه حوضه، مقادیر رواناب نیز افزایش پیدا می‌کند که با پژوهش‌های Emamidehkharghany و همکاران (۲۰۱۱) نیز مطابقت دارد.

### سپاسگزاری

این مقاله تحت حمایت مالی دانشگاه زابل با کد گرنت 85- UOZ-GR-9618 انجام شده است. بدین وسیله از حمایت مالی مسئولین دانشگاه قدردانی می‌شود.

ارتفاعی کف بستر رودخانه نزدیک‌تر است، در نتیجه سطح تراز آب باعث آب‌گرفتگی اراضی می‌شود و همچنین، رعایت نکردن حریم رودخانه در بخش‌های از منطقه مورد مطالعه یکی دیگر از موارد آب‌گرفتگی اراضی است.

### منابع مورد استفاده

1. Bozorghaddad, A., S. Khosroshahi, M. Zarezadeh and P. Javan. 2014. Development of simulation optimization model in protection areas of flood. *Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology)*, 27: 462- 471 (in Persian).
2. Darabi, H., K. Shahedi, K. Solaimani and M. Miryaghoubzadeh. 2014. Prioritization of sub-watersheds based on flooding conditions using hydrological model, multivariate analysis and remote sensing technique. *Journal of Water and Environment*, 28: 382-392 (in Persian).
3. Emamidehkharghani, A. 2011. Flood plain determination using hydraulic model HEC-RAS and Geographical Information System (GIS), case study: a part of Shahrchay River in West Azarbaijan Province. *Proceedings of the 4th Iranian Water Resources Management Conference*, Amirkabir University of Technology, Iran (in Persian).
4. Esmaili, F. and S. Rahmani. 2015. Flood zoning using GIS and mathematical models emphasizing flood management: a case study of Gavi River, Ilam Province, Western Iran. *International Bulletin of Water Resources and Development*, 2: 56-72 (in Persian).
5. Ghazizadeh, E., Z. Gangi and Kh. Azhdari. 2016. Risk assessment of flood regions using HEC-RAS and GIS model, case study: agricultural lands of Hailly Rood River in Jiroft County. *2nd Iranian National Congress of Irrigation and Drainage*, Esfahan, Iran (in Persian).
6. Haile, A.T., F.T. Tefera and T. Rientjes. 2016. Flood forecasting in Niger-Benue Basin using satellite and quantitative precipitation forecast data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52: 475-484.
7. Hosseini, S.M. and A. Naddafy. 2015. A new approach on unit flood response method for spatial prioritization of flood control activities. *Journal of Civil Engineering*, 1: 1-16 (in Persian).
8. Khattak, M.S., F. Anwar, Q.S. Tari, KH. Sheraz and A. Ahmad. 2016. Flood plain mapping using HEC-RAS and ArcGIS, case study of Kabul River. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 4: 1375-1390.
9. Mahdavi, M. 2002. *Applied hydrology*. Tehran University Publication, Tehran, 437 pages.
10. Manners, R., C.J. Schmidt and L.M. Scott. 2014. Mechanisms of vegetation induced channel narrowing of an unregulated canyon river: results from a natural field-scale experiment. *Journal of Geomorphology*, 13: 100-115.
11. Melesse, A.M. and S.F. Shih. 2002. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat image and GIS. *Computer and Electronic in Agriculture Journal*, 12: 172-183.
12. Nourkarami, B., M.A. Sadeghi and H. Vatandost. 2016. The effect of detention dams on the river urban flood control case study: Vardavard River Catchment. *Journal of Engineering and Construction Management*, 3: 32-40 (in Persian).
13. Thielen, J., J. Bartholmes, M.H. Ramos and A. de Roo. 2009. The European flood alert system, part 1: concept and development. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 125-140.
14. Xiao, Y., S. Yi and Z. Tang. 2017. Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference. *Science of the Total Environment*, 599: 1034-1046.
15. Zeraatkar, Z. and F. Hassanpour. 2016. Simulation of Birjand urban flood using HEC-RAS and ArcGIS. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)*, 112: 41-56 (in Persian).
16. Zope, P.E., T.I. Eldho and V. Jothiprakash. 2015. Impacts of urbanization on flooding of a coastal urban catchment: a case study of Mumbai City, India. *Natural Hazards*, 8: 887-908.

## Flood hazard zonation using HEC-RAS hydraulic model in Sarbaz River, Sistan and Baluchestan Province

Sakineh Damadi<sup>1</sup>, Abdolhamid Dehviri<sup>2</sup>, Mohammad Reza Dahmardeh Ghaleno<sup>\*3</sup>, Mahboobeh Ebrahimian<sup>4</sup>

<sup>1</sup> MSc, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran, <sup>2 and 3</sup> Assistant Professor, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran, <sup>4</sup> PhD, Hamoon Wetland Institute, University of Zabol, Iran

Received: 05 November 2020

Accepted: 03 February 2021

### Abstract

Every year, floods destroy the economic and social structure of communities and cause a lot of financial and human losses. One of the effective factors in the occurrence of floods is the development of urbanization around rivers. Due to climate change, in recent decades, Sistan and Baluchestan Province with hot and dry climate, is prone to floods. The aim of the present study is to zoning the flood of Sarbaz Watershed using HEC-RAS hydraulic model. To conduct the research, the SCS model of the area was first determined according to satellite images, land use map and runoff curve number. Then, the flood discharge of the basin with 10, 25, 50 and 100 years return periods was simulated using the HEC-HMS hydrological model. The simulation results resulted in the occurrence of peak flood discharges of 3363.8, 4563.7, 5446.2 and 6359.3 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> for return periods of 10, 25, 50 and 100 years in the study basin, respectively. In order to evaluate the efficiency of the model in calibration and validation stage, Nash-Sutcliffe evaluation indices and the mean square error were used, the results of which indicate the optimal performance of the model. Then, the flood zoning map of Sarbaz Watershed in Rask City was prepared in desired return period with the help of HEC-RAS hydraulic model. The results showed that with the return periods of 10, 25, 50 and 100 years, 366.86, 397.12, 449.95 and 580.78 hectares of flood zone of Sarbaz Watershed in Rask City area will increase, respectively.

**Keywords:** Discharge, Return period, Riparian zone, Runoff, Watershed management

---

\* Corresponding author: mr.dahmardeh@uoz.ac.ir