

شبیه‌سازی سیلاب‌های رودخانه مِریگ با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC_RAS (مطالعه موردی: حدفاصل بین روستای دار امرود علیا تا چالابه سفلی، حوضه آبریز ماهیدشت، استان کرمانشاه)

رویا پناهی*، میترا مشعشی^۲، سید میثم مشعشی^۳

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- گروه سنجش از دور، دانشکده عمران و نقشه‌برداری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۳- شرکت مهندسی مشاور آب پردازان نو اندیش، سنندج، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱/۲۶ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۷/۱۲

چکیده

افزایش فشار بر سیستم‌های رودخانه‌ای باعث افزایش احتمال وقوع سیلاب و خسارت جانی و مالی شده است و این مخاطره به عنوان یک نگرانی جهانی مطرح بوده است تعیین میزان گستردگی این مخاطره اولین گام ضروری برای کنترل و کاهش احتمال خطر سیل با استفاده از ابزارهای مناسب می‌باشد. در این پژوهش به پهنه‌بندی سیلاب رودخانه مِریگ (حوضه آبریز ماهیدشت) در استان کرمانشاه پرداخته شده است. بنابراین جهت شبیه‌سازی سیلاب از مدل عددی HEC_RAS استفاده گردید و از طریق الحاقی HEC-GEORAS در محیط GIS پردازش داده‌های ژئومتری انجام شد. جهت محاسبه دبی برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه به داخل محیط نرم‌افزار HEC-HMS وارد شد و مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز از قبیل: مساحت، طول آبراهه اصلی، شماره منحنی خاک (CN)، زمان تمرکز، زمان تاخیر وارد گردید. سپس بعد از تحلیل، نتایج خروجی حداکثر دبی سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. با توجه به الگوی رودخانه، منطقه به چهار بازه مختلف تقسیم‌بندی شد که ضریب زبری مانینگ با استفاده از روش کوان برای هر بخش جداگانه محاسبه گردید. نتایج حاصل از مطالعات نشان می‌دهد که پهنه سیلاب در دور بازگشت ۲۵ ساله ۳/۲، در دوره بازگشت ۵۰ ساله ۳/۴ و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله ۳/۵ کیلومتر مربع از اراضی حاشیه رودخانه مِریگ را در بر گرفته‌اند. در بازه سوم به دلیل افزایش میزان ضریب خمیدگی و کاهش میزان شیب پهنه سیلاب از سایر بازه‌ها گسترده‌تر شده است و اکثر مراکز روستایی حاشیه رودخانه مِریگ در بازه سوم تحت‌تاثیر مخاطره سیلاب قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: پهنه بندی سیلاب، رودخانه مِریگ، ماهیدشت، HEC_RAS.

مقدمه

مخاطرات طبیعی به‌طور فزاینده‌ای به اجتماعات آسیب می‌رساند و می‌تواند مانع از توسعه پایدار یک جامعه شود. مدیریت پایدار مخاطرات طبیعی که پاسخی جامع به مخاطرات را ممکن می‌سازد که در حال حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های بشر بوده است (Geravand et al, 2020). از میان تمام مخاطرات سیل شایع‌ترین مخاطره طبیعی است که تعداد، شدت و هزینه خسارت حاصل از آن در سرتاسر جهان رو به افزایش است سیلاب به عنوان یک پدیده طبیعی که منجر به زیر آب رفتن موقت یک زمین می‌شود تعریف می‌شود. بارش شدید، ذوب ناگهانی برف، دخالت‌های انسان در محیط طبیعی از قبیل (جنگل‌زدایی، شهرنشینی، زهکشی ضعیف شهری) از جمله علل جاری شدن سیل می‌باشد (European Commission, 2007; Mishra et al, 2020). در قرن بیست و یک، خطر سیلاب به دلیل تغییر آب و هوا و گرم شدن کره زمین توجه بین‌المللی را به خود جلب کرده است. خطر طغیان سیل در چندین نقطه از جهان تشدید شده است و خسارات زیادی به دارایی و محیط زیست وارد کرده است. در فاصله سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴، وقوع سیلاب ۳۴٪ از کل بلایای طبیعی ثبت شده در سراسر جهان (۱۷ سیل در هر سال) بوده است (Petit-Boix et al, 2017; Zelenakova et al, 2019). ایران با توجه به وسعت زیاد، تغییرپذیری آب و هوا و تغییرات فضایی پراگندگی بارش در اکثر حوضه‌ها، هر ساله با سیل عظیم روبرو شده است طی دهه‌های گذشته، خسارات اقتصادی ناشی از سیلاب به ۱۷۰۵ هزار دلار رسیده است (Jahangir et al, 2019). موج بارش‌های سنگین که از ۱۹ مارس ۲۰۱۹ در ایران شروع شد و تا آوریل ادامه داشت که در نتیجه این بارش‌ها باعث جاری شدن سیلاب در ۳۱ استان ایران شد سیلاب‌ها

تقریباً همه استان‌های شمالی ایران از قبیل: گرگان، بندرترکمن، آزاد شهر، آق‌قلا، گنبد کاووس و مینودشت اتفاق افتاده است دفتر بشر دوستانه سازمان ملل متحد اعلام کرده است که در ایران در اثر بارش‌های سنگین مارس و آوریل ۲۰۱۹ حدود ۱۴۰ رودخانه طغیان کرده‌اند و استان‌های گلستان، ایلام، لرستان، خوزستان (همه استان‌های جنوب ایران) به شدت خسارت دیده‌اند. براساس گزارشات فدراسیون بین‌المللی جوامع صلیب سرخ و هلال احمر، ۳۸۰۰ شهر و روستا تحت‌تاثیر سیل قرار گرفته‌اند مناطق کشاورزی به شدت آسیب دیده، و بیش از ۱ میلیون هکتار از اراضی زراعی تحت پوشش سیلاب قرار گرفته‌اند با در نظر گرفتن خسارت‌ها، این یکی از بزرگترین فاجعه طبیعی طی ۲۰ سال گذشته در ایران بوده است (Shokri et al, 2020). و علاوه بر آن در حوضه آبریز مرگ در اثر سیلاب‌های فروردین ۱۳۹۸ حدود ۱۸۰۲ هکتار از اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه و نیز ۳۰ واحد مسکونی در این سیل دچار تخریب شدند. (مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر کرمانشاه، ۱۳۹۸) و با توجه به اینکه جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به بیش از دو برابر خواهد رسید این نگرانی ناشی از تجاوز به حریم رودخانه‌ها و افزایش خسارت‌ها بیشتر شده است. مطالعات متعددی در مورد روش‌های ارزیابی خطر سیلاب از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ انجام شده است که مبتنی بر ۴ روش اصلی می‌باشد شامل: الف) روش -های آماری: که ارزیابی خطر سیل مستلزم ثبت سیلاب‌های تاریخی طولانی مدت است و تصور می‌شود که گذشته کلیدی برای آینده می‌باشد (Black et al, 2002). ب) سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره: یک روش تحلیل تصمیم‌گیری ترکیبی از مسائل را بیان می‌کند که اولین بار توسط ووگ (۱۹۸۳) ارائه گردید ج) سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور: اولین بار مجیا ناوارو و

را نشان می‌دهند (Nkwunonwo et al, 2016). در این مطالعه به بررسی مخاطره سیلاب رودخانه مرگ پرداخته می‌شود حوضه مورد پژوهش به دلایلی چون شیب زیاد در بالا دست، فقر پوشش گیاهی، تخریب و از بین بردن مراتع و جنگل‌های بلوط دارای پتانسیل سیل‌خیزی است و با توجه به اینکه اکثر مراکز روستایی و بسیاری از اراضی کشاورزی مستعد از لحاظ فرسایش در امتداد رودخانه مرگ قرار گرفته‌اند که لزوم شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز احساس می‌شود.

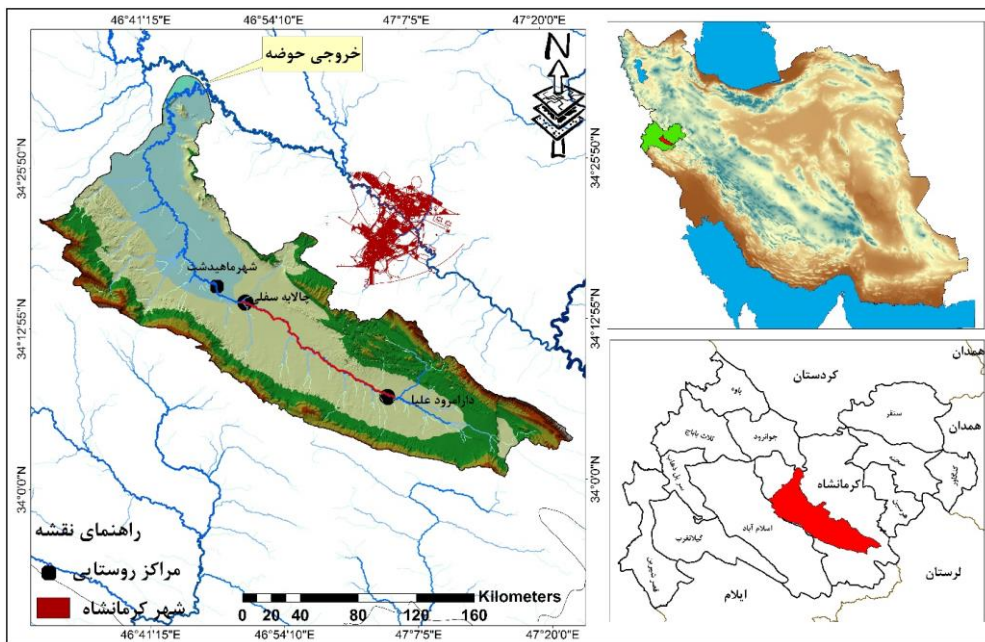
منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه حوضه آبریز مرگ با مساحت ۱۴۶۳ کیلومتر مربع در غرب ایران و در محدوده سیاسی استان کرمانشاه (در جنوب غرب کرمانشاه) قرار گرفته است. این حوضه در مختصات 32° ، 46° تا 34° ، 24° طول شرقی و 34° ، 1° تا 34° عرض شمالی واقع شده است حوضه آبریز مرگ از زیر حوضه‌های حوضه آبریز قره‌سو و از مهم‌ترین زیر حوضه‌های کرخه بزرگ بوده است. حوضه مرگ حوضه‌ای نسبتاً کوهستانی می‌باشد ارتفاع متوسط حوضه ۱۵۲۴ متر از سطح دریا است مرتفع‌ترین قله آن ۲۷۶۰ متر و پست‌ترین نقطه آن ۱۳۱۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد رودخانه مرگ (بازه مورد مطالعه) با طول ۴۰ کیلومتر، آبراهه اصلی این واحد هیدرولوژیک می‌باشد از نظر زمین‌شناسی حوضه آبریز مرگ، ارتفاعات آن را سنگ‌های آهکی شهبازان، کشکان و تله زنگ، و محدود دشت از رسوبات جوان کواترنر تشکیل شده است. متوسط بارش حوضه در طی دوره آماری ۲۵ ساله ۴۰۸ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۴ درجه سانتیگراد می‌باشد. رودخانه مرگ از سراب سر فیروزآباد کرمانشاه در جنوب غربی ماهیدشت سرچشمه می‌گیرد و در شمال شرقی روستای میرعزیزی به

همکاران (۱۹۹۴) به استفاده از GIS در ارزیابی خطر سیل را به کار گرفتند (Iyu et al, 2019). و در سپس شوومان و همکاران (۲۰۰۰) به استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مفهومی کردن مدلسازی بارش رواناب به مطالعه پرداخته‌اند. (چ) تجزیه و تحلیل مبتنی بر سناریو^۲: این روش شامل استفاده از داده‌های توپوگرافی دقیق، که یک روش کمی بوده که داده‌های مختلف را با هم ترکیب می‌کند و فراوانی در مورد احتمال خطر سیل را نشان می‌دهد این روش برای پیش‌بینی احتمال خطر سیلاب برای مناطق کوچک استفاده می‌شود (Iyu et al, 2019). در این پژوهش نیز بیشترین تاکید بر روی مدل‌های کمی بوده است که بیشترین کاربرد را دارد این مدل‌ها عبارتند از مدل‌های یک بعدی، دو بعدی، و سه بعدی هستند. مدل‌های سیل یک بعدی مانند (ISIS، MIKE 11 و HEC-RAS) که کانال و سیلاب دشت را به عنوان یک سری مقاطع عمود بر جهت جریان نشان می‌دهند و معادلات آب کانال را به صورت یک بعدی حل می‌کنند مدل‌های یک بعدی از بین سایر مدل‌های سیلاب ساده‌تر و از نظر محاسباتی کارآمدتر هستند (Bates et al, 2000; Parahi et al, 2018; Zelenakova et al, 2019). مدل‌های سیلاب دو بعدی مانند (SOBEK, TUTFLOW, HEC-RAS 2D, MIKE 21) با استفاده از معادلات عددی مناسب جریان را در کانال رودخانه به صورت دو بعدی حل می‌کنند پیشرفت در فناوری سنجش از دور به ویژه از طریق استفاده از داده‌های با قدرت تفکیک خوب مانند (LiDAR و SAR) و بهبود ظرفیت محاسباتی، هر دو باعث افزایش محبوبیت مدل‌های دو بعدی شده‌اند (Abderrezzak et al, 2009; Ezzine et al, 2020). مدل‌های سیلاب سه بعدی جریان کانال را به صورت معادله ناویر استوکس^۳ حل می‌کنند و جریان سیلاب را کاملاً سه بعدی در نظر می‌گیرند و به صورت پویا، فیزیک جریان آب

مرکز آمار ایران جمعیت بخش ماهیدشت واقع در شهرستان کرمانشاه در سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۸,۶۲۸ نفر بوده است (شکل ۱).

رودخانه قره سو می‌ریزد این منطقه با زمین‌های حاصلخیز کشاورزی و استفاده از آب‌های زیرزمینی موقعیت ممتازی را از نظر اقتصادی در غرب ایران به وجود آورده است بر این اساس شغل اصلی مردم ناحیه کشاورزی و دامداری است. بنابر سرشماری



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز مرگ و محدوده مطالعاتی حوضه آبریز ماهیدشت در استان و کشور

استفاده گردید در اولین مرحله در HEC-Geo RAS لایه خط مرکزی جریان تهیه گردید. از این لایه به منظور تعیین محدوده قرارگیری مقاطع، نمایش موقعیت رودخانه در مدل HEC-RAS و تعریف جهت جریان در رودخانه استفاده گردید. در ادامه جهت جداسازی مجرای اصلی رودخانه از سواحل آن، لایه سواحل رودخانه^۴ ترسیم و در ادامه لایه ابعاد مسیر جریان تهیه گردید. از این لایه به منظور تعیین ابعاد مسیر هیدرولیکی جریان در مجرای اصلی جریان و ساحل چپ و راست آن در ناحیه سیلاب‌گیر استفاده شده است. کلید اصلی شبیه‌سازی سیلاب، مقاطع عرضی می‌باشند، مقاطع در جهت جریان، عمود بر مسیر جریان از ساحل سمت چپ به ساحل سمت راست کشیده شد.

مواد و روش‌ها

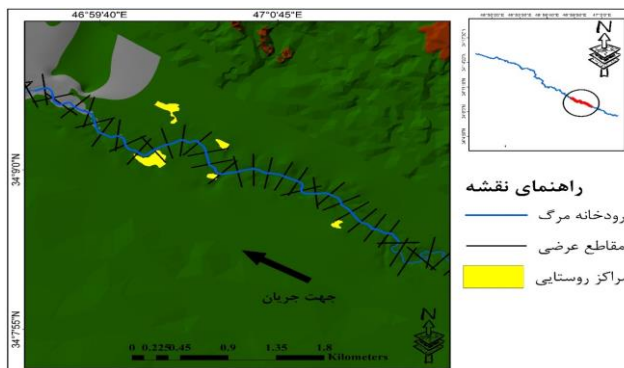
به منظور انجام مطالعات تعیین حدود بستر و تهیه مدل رقومی ارتفاع منطقه، از نقشه ۱:۱۰۰۰ (شرکت مهندسی مشاور آب پردازان نواندیش) که محدوده رودخانه و بخشی از دشت سیلابی را پوشش می‌دهد استفاده شده است ترسیم نقشه‌ها و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار GIS و تهیه مدل هیدرولیکی در نرم‌افزار HEC-RAS (ورژن 5.0.7) ایجاد شده است. نرم‌افزار HEC-RAS در مدیریت دشت سیلابی و برآورد خسارت سیلاب به‌طور گسترده مورد استفاده محققان قرار می‌گیرد؛ ابتدا در محیط GIS با استفاده از ابزار HEC-Geo RAS برای تهیه داده‌های هندسی و محاسبات مسیر رودخانه، رسم مقاطع و انتقال آنها به HEC-RAS

گیاهی داشت که جهت محاسبه ضریب زبری مانینگ از روش کوان (۱۹۵۶) استفاده شده است (جدول ۱). در مرحله بعد جهت تعیین دبی در دوره بازگشت‌های مختلف مقدار آن برای هر یک از زیر حوضه‌های مرگ با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS محاسبه شد (جدول ۵). در تحلیل هیدرولیکی انجام گرفته از بازه مورد مطالعه، شرایط مرزی بالادست و پائین دست رودخانه عمق نرمال منظور گردیده است و برای محاسبه پروفیل‌های سطح آب از حالت جریان دائمی و رژیم فوق بحرانی استفاده گردید. و نتایج حاصل HEC-RAS به محیط Civil3D و سپس به محیط GIS منتقل شده است و پهنه سیلاب در طول رودخانه مرگ براساس دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه گردید.

HEC-Geo RA تمام اطلاعات ژئومتری رودخانه با کمک لایه RAS (با فعال شدن editor) تهیه می‌شود. لایه‌های RAS ویژگی‌های ژئومتری زمینی را با رقومی کردن لایه‌های مختلف و سپس بازیابی دوباره اطلاعات جمع‌بندی می‌کند. در ادامه اطلاعات به محیط HEC-RAS منتقل شدند. یکی از پارامترها در مدل‌سازی، ضریب زبری مانینگ است که بر روی سرعت جریان و پهنه گسترش سیلاب تاثیرگذار است. مقدار ضریب زبری مانینگ به عواملی از قبیل: زبری بستر کانال، درجه همواری در سطح بستر، پوشش گیاهی، شکل مسیر، وجود موانع در مسیر جریان، دبی جریان بستگی دارد (COON, 1956). با توجه به بازدیدهای محلی انجام گرفته، بستر رودخانه مرگ در طول مسیر خود تفاوت‌هایی از نظر جنس بستر و پوشش

جدول ۱: مقدار ضریب زبری مانینگ در مقاطع رودخانه مرگ

شماره بازه	مقاطع	ساحل چپ	بستر	ساحل راست
۱	۵۶-۱	۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	۰/۰۴۵
۲	۱۱۲-۵۶	۰/۰۵	۰/۰۴۵	۰/۰۵
۳	۱۶۵-۱۱۲	۰/۰۵۵	۰/۰۴۵	۰/۰۵۵
۴	۲۶۶-۱۶۵	۰/۰۵	۰/۰۴۵	۰/۰۵



شکل ۲: بخشی از TIN رودخانه مرگ و مقاطع عرضی در محیط GIS

مسلح تهیه شد و سپس براساس موقعیت حوضه نسبت به شناسایی ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و اطراف حوضه اقدام شد. با استفاده از نقشه‌های رقومی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مرز هیدرولوژیکی

محاسبه دبی در نرم‌افزار HEC-HMS جهت آماده کردن اطلاعات ورودی به مدل HEC-HMS، ابتدا استفاده از نقشه توپوگرافی حوضه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای

برحسب نوع کاربری اراضی و خصوصیات خاک تعیین می‌شود. برای تهیه لایه شماره منحنی خاک نیاز به داده‌های نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک، کاربری اراضی، شیب منطقه در سطح حوضه آبریز می‌باشد. نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک از داده‌های سازمان منابع طبیعی استان کرمانشاه استفاده شده است. و نقشه کاربری اراضی با کمک تصاویر گوگل ارث در محیط GIS تهیه شده است. با توجه به نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک، حوضه آبریز مرگ دارای چهار گروه خاک (A, B, C, D) می‌باشد و انواع کاربری‌ها شامل تیپ‌های مرتعی، تیپ‌های جنگلی، زراعت آبی و دیم، باغات در قلمرو مطالعاتی ملاحظه شده است. در این مطالعه مقادیر CN با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در محیط GIS محاسبه گردید و سپس با تعیین ضریب رواناب حوضه آبریز براساس نوع پوشش سطحی حوضه و شیب اراضی در هر بخش تعیین شده است در میزان (CN) ضریب شد و (CN) نهایی برای تمامی زیر حوضه‌ها محاسبه گردید نقشه شماره (۳، ۴، ۵، ۶) کاربری‌های اراضی، شیب، گروه‌های هیدرولوژیک و مقدار CN حوضه مطالعاتی را نشان می‌دهد (شکل ۷). علاوه بر این، جهت تبدیل بارش‌های مازاد به هیدروگراف رواناب سطحی، روش هیدروگراف واحد SCS مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین با استفاده از روش، SCS با توجه به خصوصیات فیزیکی حوضه روابط ۳ و ۴ را برای محاسبه زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف پیشنهاد داده است (علیزاده، ۱۳۸۸).

رابطه (۳)

$$t_{lag} = \frac{L^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{1900y^{0.5}} \Rightarrow T_c = 1.67t_{lag}$$

حوضه آبریز رودخانه مرگ تعیین و شبکه آبراهه-های آن استخراج گردید که در مجموع حوضه مورد مطالعه به هفت زیر حوضه تقسیم‌بندی شد تمامی محاسبات در نرم‌افزار GIS محاسبه گردید. شکل (۸) شماتیک محیط نرم‌افزار HEC- HMS جهت برآورد حداکثر دبی سیلابی با دوره برگشت مختلف برای هر یک از زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد. در این نرم‌افزار جهت تحلیل و ایجاد هیدروگراف واحد برای هر یک از دوره بازگشت‌های مذکور ابتدا با وارد کردن حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه (رودخانه مرگ) به داخل محیط نرم‌افزار HEC- HMS و سپس مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز (مساحت، طول آبراهه اصلی، CN، زمان تمرکز، زمان تاخیر) وارد گردید. بعد از تحلیل، نتایج خروجی حداکثر دبی سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف برای هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبریز مورد مطالعه محاسبه شده است.

تهیه اطلاعات مدل در نرم‌افزار HEC-HMS

به‌طور کلی در تهیه فایل ورودی دو سری داده برای مدل می‌بایست تهیه شود که عبارتند از: الف) مدل حوضه^۵: در این روش جهت برآورد میزان دبی، از مدل‌سازی نفوذ با روش SCS curve number استفاده گردید و مدل‌سازی بارش به رواناب نیز با روش (SCS unit hydrograph) انجام شده است برای محاسبه مقادیر نفوذ در روش SCS-CN، میزان تلفات با استفاده از روابط ۱ و ۲ تخمین زده می‌شود:

رابطه (۱)

$$Ia = 0.2 * S$$

(S) نگهداشت آب در سطح حوضه

رابطه (۲)

$$S = \frac{25400}{CN} - 25$$

شماره منحنی خاک (CN)

این پارامتر که بیانگر خصوصیات نفوذپذیری خاک حوضه می‌باشد مقادیر شماره منحنی خاک (CN)

وسیله نرم افزار آماری Hyfrantplus محاسبه شده است. این نرم افزار بسته به نوع بارش (۲۴ ساعته یا سالیانه) آمار بارش هر ایستگاه را می گیرد و با توجه به تجزیه و تحلیل هایی آماری، بهترین توزیع بارش (نرمال - لوگ نرمال - پیرسون - پیرسون تیپ ۳ - گاما - GEV) را توسط معیار آکاییک (معیار برتر) نشان می دهد. شایان ذکر است معیار آکاییک (معیار برتر) تمامی توزیع آماری بارش را با هم مقایسه می کند و در واقع معیاری که آکاییک کمتری داشته باشد را توزیع برتر می داند. جدول ۲ مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت های مختلف بر سطح حوضه مورد مطالعه با توزیع آماری برتر (توزیع گامبل) را نشان می دهد. همچنین (شکل ۳) نمودار توزیع آماری گامبل را براساس احتمال وقوع بارش در مقابل حداکثر بارش (میلیمتر) را نشان می دهد. نتایج وارد نرم افزار HEC-HMS گردید و با توجه به ویژگی های فیزیوگرافی حوضه دبی در دوره بازگشت های مختلف برای تمامی زیر حوضه ها محاسبه گردید.

(S) نگهداشت آب در سطح حوضه، (L) طول آبراهه اصلی بر حسب فوت، (Y) شیب آبراهه به درصد می باشد؛

روابط (۴)

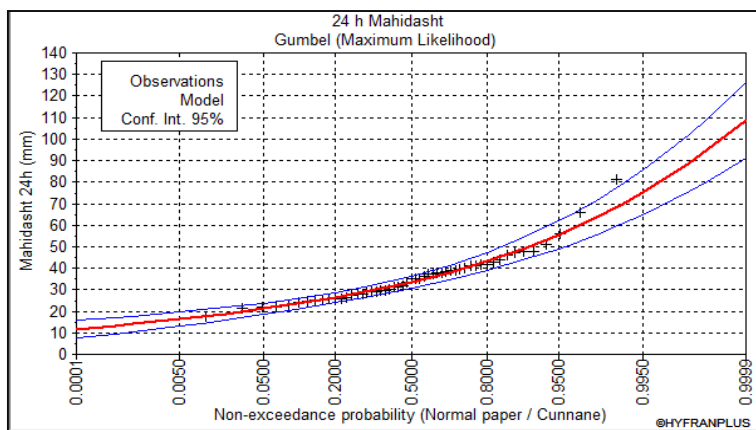
$$S = \frac{1000}{CN} * 100$$

$$Y = \frac{\text{اختلاف ارتفاع } (M)}{\text{طول آبراهه اصلی } (M)} * 100$$

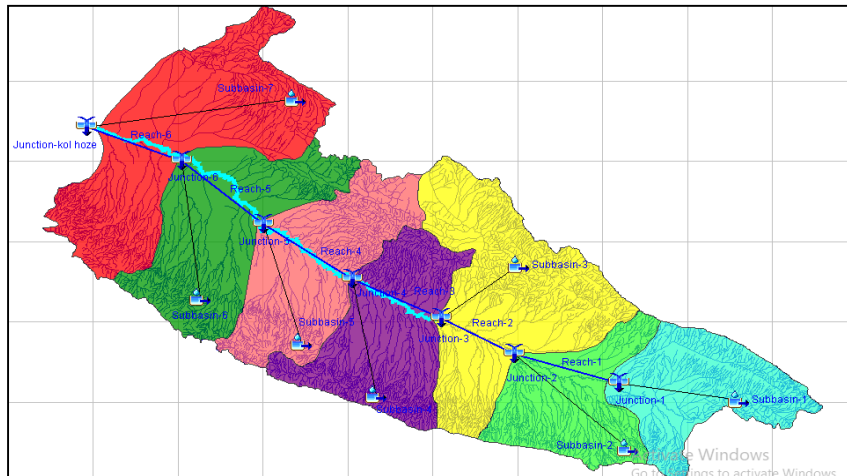
(ب) مدل هواشناسی حوضه آبریز: یکی از پارامترهای مهم و شاخص بارندگی بارش های حداکثر ۲۴ ساعته می باشد. زیرا بخش عمده بارندگی قابل توجه به وقوع پیوسته در یک دوره زمانی نسبتاً محدود در هنگام نزول به رواناب تبدیل می گردد که همین امر می تواند منشأ برآوردهای قابل توجه توسط آبراهه ها و یا رودخانه های یک منطقه باشد با توجه به اینکه ایستگاه سینوپتیک ماهیدشت در داخل حوضه آبریز می باشد مقادیر بارش های حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه مورد بررسی برای دوره بازگشت های ۲ تا ۱۰۰ سال و با استفاده از توزیع های رایج به

جدول ۲: مقادیر حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته ایستگاه ماهیدشت با دوره آماری (۱۳۹۸-۱۳۷۳) برای دوره بازگشت های مختلف براساس توزیع گامبل (توزیع برتر)

دوره بازگشت	۲	۳	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
دبی	۳۳/۶	۳۸/۱	۴۲/۲	۴۹/۵	۵۷/۶	۶۳/۵	۶۹/۴



شکل ۳: مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه ماهیدشت براساس احتمال وقوع آن توسط معیار گامبل (توزیع برتر)



شکل ۸: شماتیک تعیین حداکثر دبی عبوری رودخانه مرگ براساس حداکثر دبی خروجی هر یک از زیرحوضه‌ها

جدول ۴: نتایج تعیین مقادیر سیلاب (مترمکعب بر ثانیه) در دوره بازگشت‌های مختلف برای مسیر رودخانه مرگ جهت

استفاده در مدل هیدرولیکی HEC-RAS

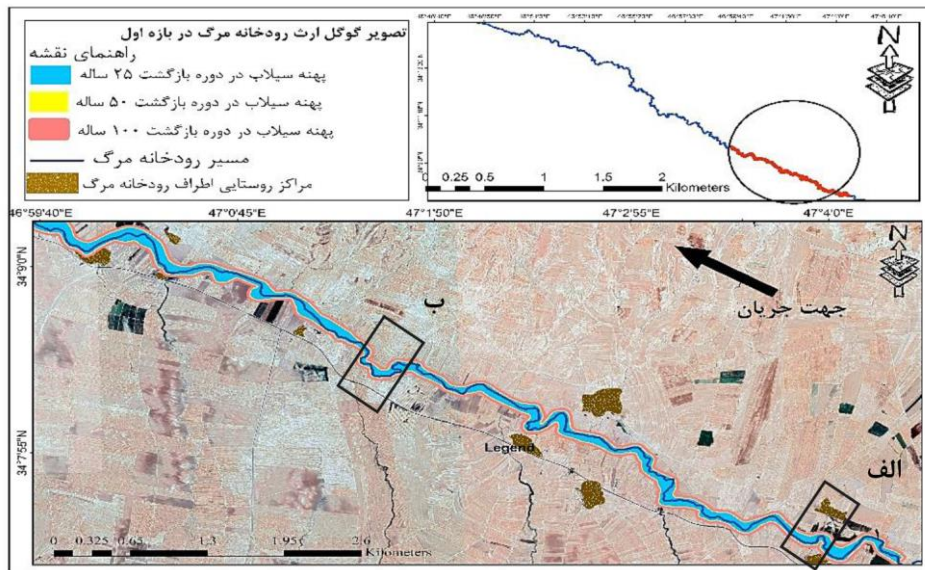
دوره بازگشت						طول رودخانه (کیلومتر)	خروجی حوضه
۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲		
۹۲/۸	۷۴/۷	۵۷	۳۷	۲۶/۷	۱۷/۲	Junction4	از ابتدای بازه تا کیلومتر ۸/۷
۱۰۸/۳	۸۷/۱	۶۶/۴	۴۲/۸	۳۰/۶	۱۹/۸	Junction5	از کیلومتر ۸/۷ تا کیلومتر ۲۰/۶
۱۲۲/۸	۹۸/۹	۷۵/۳	۴۸/۳	۳۴/۵	۲۲/۲	Junction6	از کیلومتر ۲۰/۶ تا کیلومتر ۳۲/۵
۱۴۱/۷	۱۱۴/۲	۸۷	۵۵/۳	۳۹	۲۵/۲	Junction7	از کیلومتر ۳۲/۵ تا انتهای بازه

نتایج

رودخانه مرگ در بازه مورد مطالعه منطبق بر تراست ماهیدشت جریان پیدا کرده است با توجه به تفاوت شیب و میزان ضریب خمیدگی رودخانه مرگ به ۴ بازه تقسیم‌بندی شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل به شرح ذیل می‌باشد:

بازه اول: رودخانه مرگ در بخش اول به طول ۱۹/۱۲ کیلومتر بوده است میزان شیب بستر مقاطع در این بازه به‌طور متوسط از (۰/۵) درصد متغیر می‌باشد ضریب خمیدگی ۱/۳۹ محاسبه شده است و با توجه به تقسیم‌بندی بریلی و فریس (۲۰۰۵) جزء الگوی پیچان‌رودی می‌باشد (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۴). جنس بستر رودخانه رس و

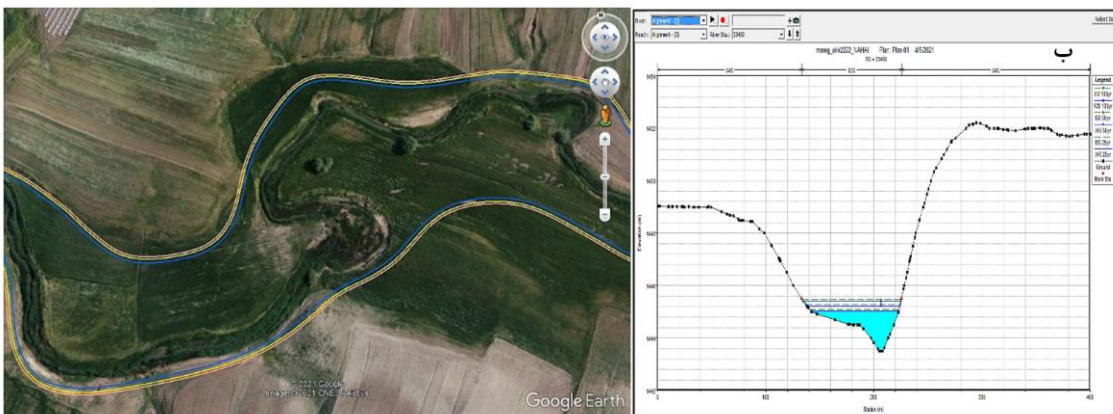
کاربری اطراف رودخانه کشاورزی است و به این ترتیب با تعیین حد بستر، نحوه عبور سیل مینا در منطقه مشخص می‌گردد. با اجرای HEC_RAS در بازه اول نتایج نشان می‌دهد، که به‌طور متوسط پهنه سیلاب در دوره بازگشت ۲۵ ساله در بازه اول ۲۰ تا ۱۱۰ متر، در دوره بازگشت ۵۰ سال ۱۱۲ متر و در دوره بازگشت ۱۰۰ سال ۱۱۴ متر از حد ساحل سمت چپ و راست گسترش پیدا کرده است تمامی پیچ‌های مئاندر رودخانه مرگ در این بخش تحت گسترش سیلاب قرار گرفته است و کاربری در داخل تمام پیچ‌های ساحل رودخانه مرگ کشاورزی بوده است که این امر می‌تواند خسارت‌های زیادی را به ساکنان حاشیه رودخانه وارد کند. (شکل ۹)، (اشکال الف و ب) و (جدول ۷).



شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ ساله



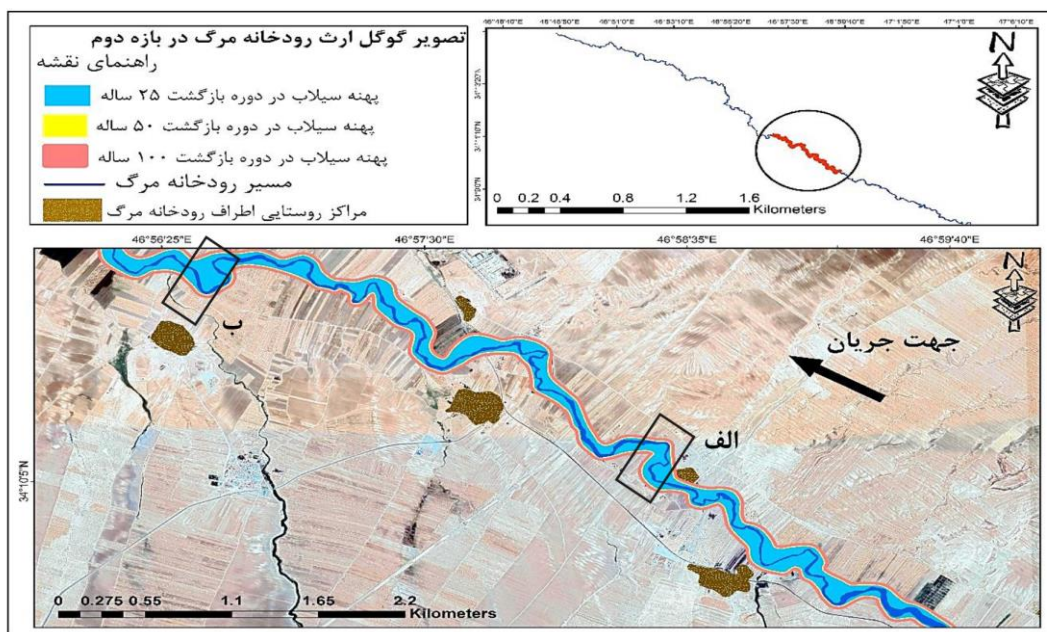
الف: مقطع عرضی رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و پهنه سیلاب در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، تصاویر گوگل ارث



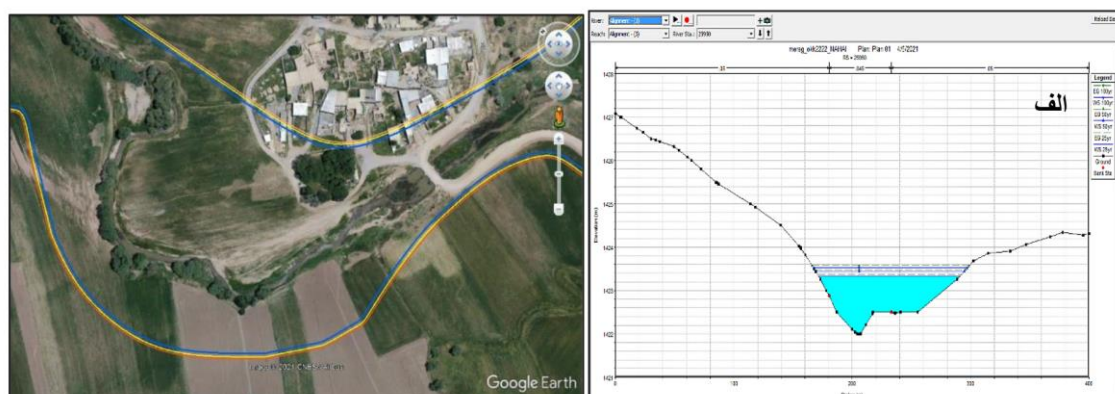
ب: مقطع عرضی رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و پهنه سیلاب در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، تصاویر گوگل ارث

می‌آورد در این بازه پهنه گسترش سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف به‌طور متوسط ۲۰ تا ۲۰۵ متر از حد مقاطع گسترش پیدا کرده است در بازه دوم پهنه سیلاب نسبت به بازه قبل گسترش بیشتری داشته است در این بخش نیز تمام پیچ‌های مئاندر رودخانه مرگ تحت‌تاثیر سیلاب ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله قرار گرفته است. (شکل ۱۰)، (شکل الف و ب) و (جدول ۷).

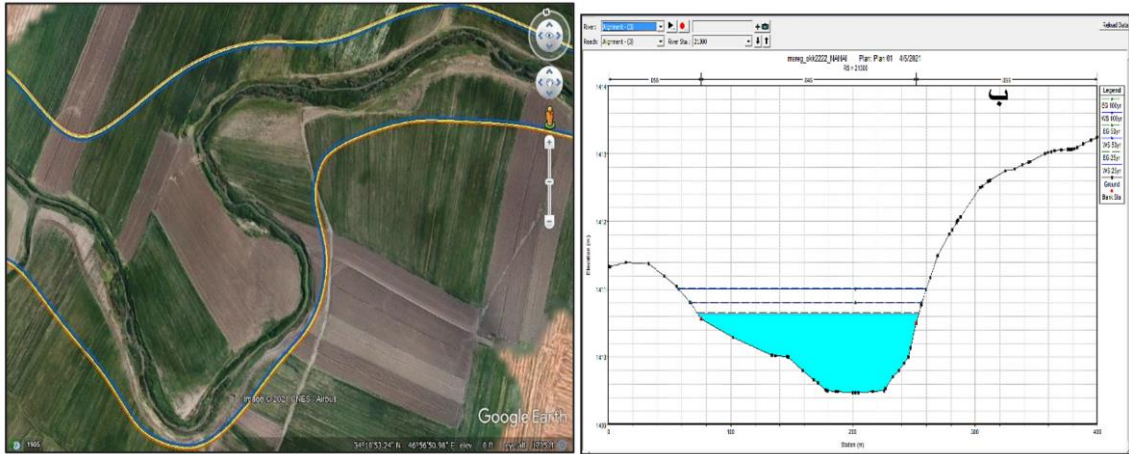
بازه دوم: در این بازه طول رودخانه ۸ کیلومتر، و میانگین شیب بستر کل مقاطع ۰/۵ می‌باشد در حالت کلی با ضریب خمیدگی ۱/۶۴ رودخانه دارای الگوی مئاندری بوده است با توجه به بررسی‌های میدانی جنس رسوبات بستر و کناره رس و کاربری دو طرف کانال در این بازه کشاورزی می‌باشد. تعیین پهنه سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف امکان حفاظت از بستر رودخانه در مقابل انسداد و احداث هرگونه تاسیسات غیر مجاز در آن فراهم



شکل ۱۰: نقشه پهنه بندی سیلاب رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ ساله



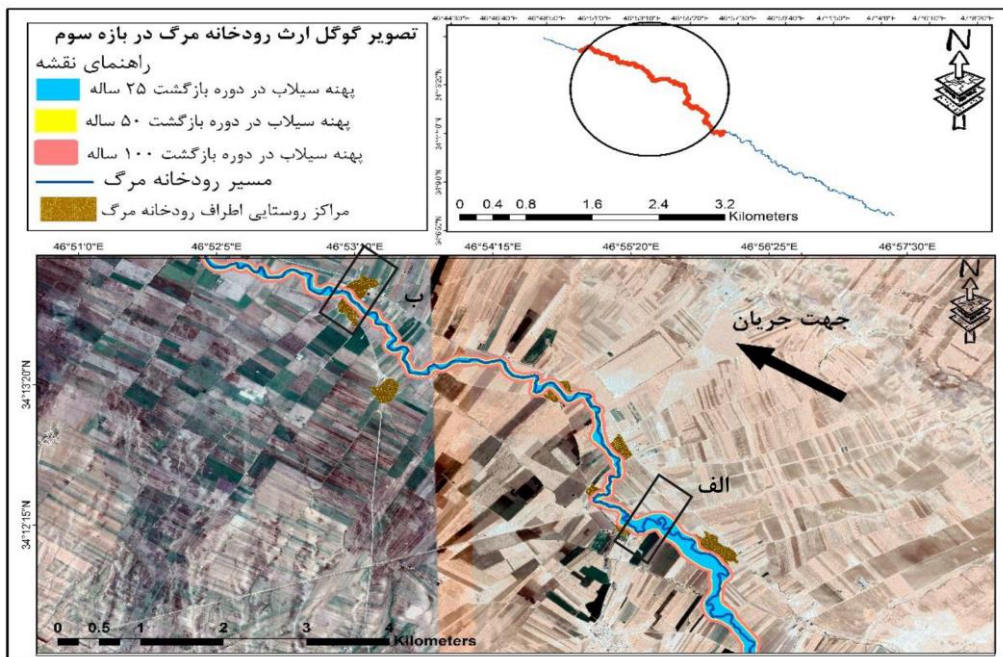
الف: مقطع عرضی رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و پهنه سیلاب در دوره بازگشت ۲۵-، ۵۰-، ۱۰۰-، تصاویر گوگل ارث



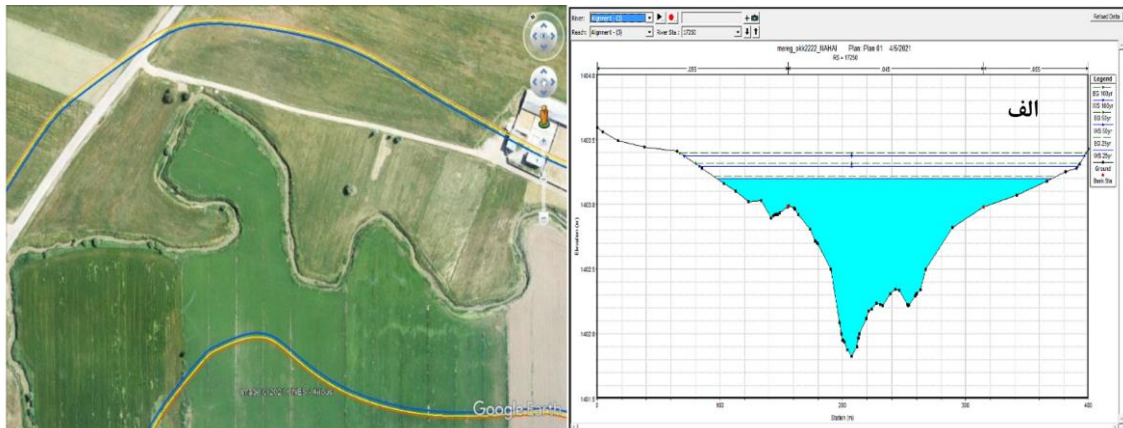
ب: مقطع عرضی رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و پهنه سیلاب در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰- تصاویر گوگل ارث

شیب نسبت به بازه‌های قبل، سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف به‌طور متوسط ۱۰ تا ۲۶۰ متر از حد مقاطع گسترش پیدا کرده است و حداکثر این گسترش به سمت ساحل چپ تمایل داشته است در این بازه اکثر مراکز روستایی حاشیه رودخانه مرگ در معرض مخاطره سیلاب قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱) و (شکل الف و ب).

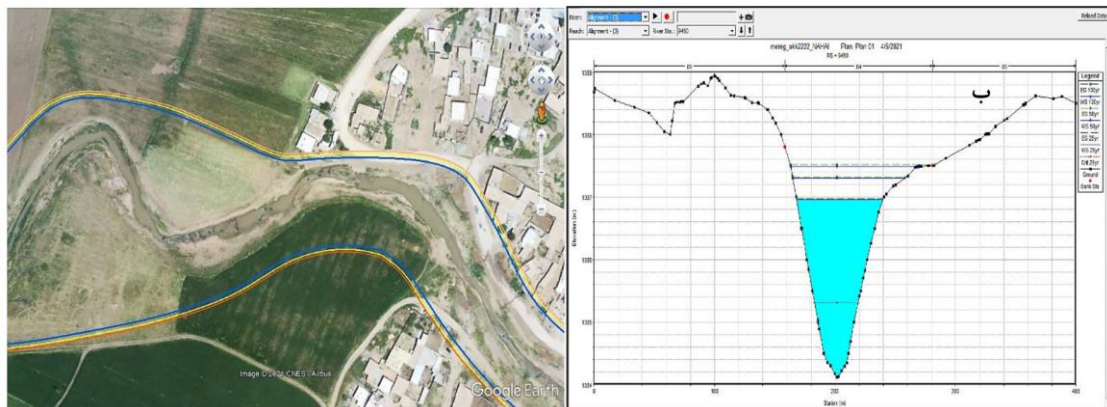
بازه سوم: این بازه از رودخانه مرگ ۲۰/۶ کیلومتر است با توجه به میانگین شیب بستر، ۰/۳ درصد بوده است که در این بازه ضریب خمیدگی ۱/۷ محاسبه شد و با توجه به تقسیم‌بندی (بریلی و فریس ۲۰۰۵) جز رودخانه‌های پیچان‌رودی بوده است و کاربری دو طرف ساحل کشاورزی است. در مقاطع آخر این بخش نسبت عرض به عمق کمتر از سایر مقاطع قبلی بوده است و با توجه به کاهش



شکل ۱۱: نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ ساله



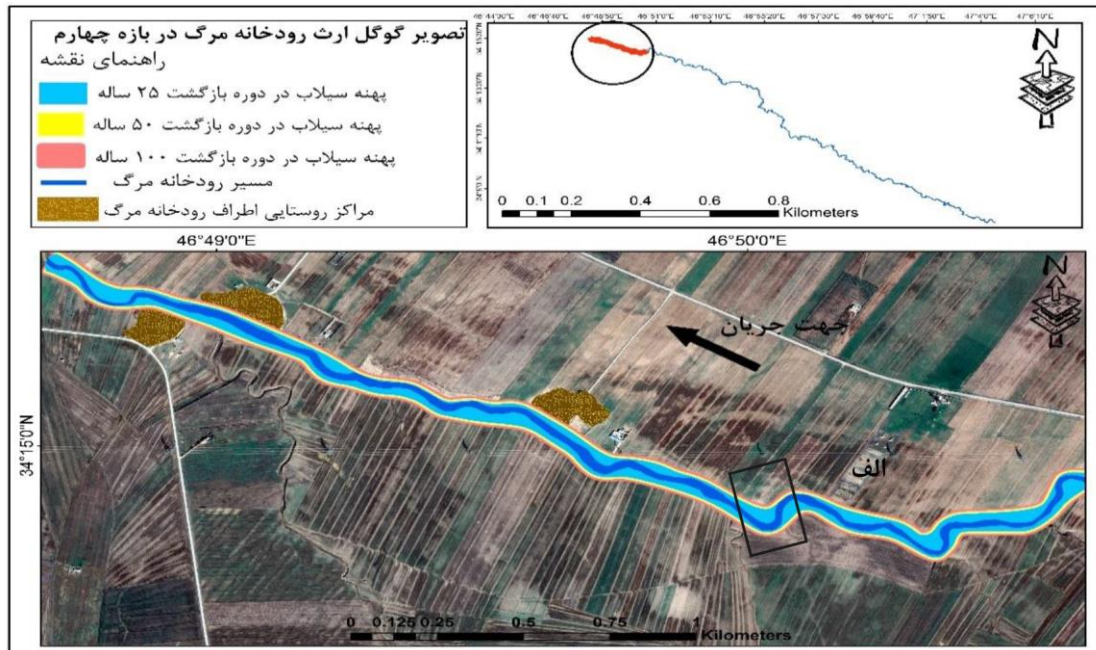
الف: مقطع عرضی رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و پهنه سیلاب در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، تصاویر حاصل از پهباد



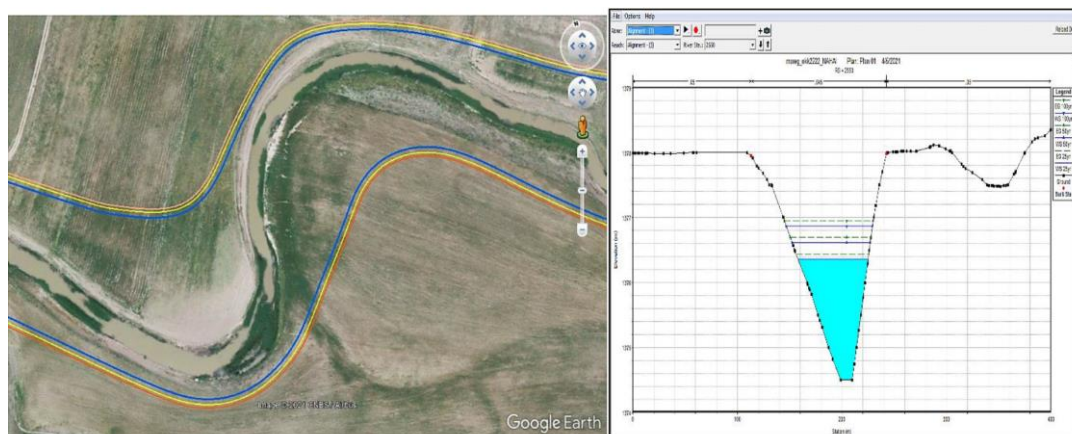
ب: مقطع عرضی رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و پهنه سیلاب در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، تصاویر گوگل راث

سایر بازه‌ها کمتر است و علاوه بر آن در اثر فعالیت‌های انسانی و لایروبی کانال میزان عمق کانال نسبت به سایر بازه‌ها بیشتر بوده است و با توجه به افزایش میزان دبی، پهنه سیلاب نسبت به بازه‌های قبل گسترش کمتری داشته است. (شکل ۱۲) و (شکل الف).

بازه چهارم: در این بخش رودخانه مرگ به طول $3/2$ کیلومتر می‌باشد دارای ضریب خمیدگی $1/2$ بوده است که در گروه الگوی سینوسی قرار می‌گیرد که میزان شیب متوسط بستر رودخانه مرگ در این بخش $0/3$ درصد محاسبه شد با توجه به بازدیدهای میدانی مواد تشکیل دهنده بستر و کناره رودخانه، رس می‌باشد در این بازه حد گسترش سیلاب به-طور متوسط ۱۰ تا ۶۵ متر بوده است که نسبت به



شکل ۱۲: نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ ساله



الف: مقطع عرضی رودخانه مرگ در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال و پهنه سیلاب در دوره بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، تصاویر گوگل ارث

استفاده از HEC-RAS نشان داد که پهنه سیلاب در بازه‌ها و مقاطع مختلف در طول رودخانه مرگ یکسان نیست و پهنه سیلاب از بالادست به سمت پایین دست از یک دوره بازگشت یکسان متغیر بوده است. به عنوان مثال در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در بازه‌های مختلف پهنه گسترش سیلاب متفاوت بوده است در بازه چهارم با توجه به افزایش میزان دبی پهنه سیلاب کمتر از سایر بازه‌ها بوده است. بررسی مورفومتری کانال و دشت سیلابی مجاور نشان داده

در ادامه، با توجه شیب کم سواحل رودخانه مرگ، مراکز سکونتگاهی و فعالیت‌های کشاورزی تا ساحل رودخانه بدون توجه به شرایط هیدرولیک آن مورد تعرض کشاورزان و مسکن روستای قرار گرفته است که در صورت وقوع سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال خسارت‌های را به دنبال خواهد داشت (جدول ۶). مساحت پهنه سیلاب و تعداد روستاهای در معرض احتمال خطر سیلاب، در دوره بازگشت‌های مختلف را بیان می‌کند. مدلسازی با

است که در بازه چهارم مساحت مقطع عرضی و عمق کانال بیشتر از سایر بازه‌ها است (جدول ۷). همچنین در بازه‌هایی که شیب دشت سیلابی کمتر بوده است پهنه سیلاب گسترده‌تر شده است.

جدول ۶: مساحت پهنه سیلاب در دره بازگشت‌های مختلف رودخانه مرگ

تعداد روستاهای آسیب دیده	مساحت کیلومتر مربع	دوره بازگشت
۶	۳/۲	۲۵ سال
۱۳	۳/۴	۵۰ سال
۱۴	۳/۵	۱۰۰ سال

جدول ۷: مقایسه میانگین مساحت مقطع عرضی و عرض مقاطع در بازه‌های مختلف

نام بازه	متوسط مساحت مقطع عرضی (متر)	متوسط شیب بستر (درصد)	متوسط عمق مقطع عرضی (متر)	عمق آب (متر) در دوره بازگشت ۲۵ سال	عمق آب (متر) در دوره بازگشت ۵۰ سال	عمق آب (متر) در دوره بازگشت ۱۰۰ سال
بازه اول	۲۶/۶۷	۰/۵	۰/۴۹	متوسط حدکثر ۱/۷۴	متوسط حدکثر ۳/۳۹	متوسط حدکثر ۳/۹۳
بازه دوم	۳۴/۸۱	۰/۵	۰/۴۴	متوسط حدکثر ۱/۹۴	متوسط حدکثر ۳/۶۸	متوسط حدکثر ۲/۱
بازه سوم	۳۴/۵۹	۰/۳	۰/۷			
بازه چهارم	۳۴/۵۹	۰/۳	۰/۸۴			

نتیجه‌گیری

مدل‌سازی مخاطره سیلاب ابزاری اساسی در تدوین سیاست‌های مدیریت سیل است. مطالعه حاضر مؤید قابلیت مدل‌سازی سامانه هیدرولوژیکی در پهنه‌بندی سیل بوده و HEC-RAS نرم‌افزار قدرتمندی در پیش‌بینی و هشدار است. نتایج شبیه‌سازی نقش بسزایی در تصمیم‌گیری ملی در زمینه پیشگیری و کنترل سیل دارد. در این پژوهش با استفاده از مدل عددی HEC-RAS به پهنه‌بندی مخاطره سیلاب رودخانه مرگ ماهیدشت پرداخته شده است حوضه رودخانه مرگ به دلیل واقع شدن در زون‌های زمین‌شناسی زاگرس چین‌خورده و به دنبال آن رخنمون سازندهای کربناته باعث شکل‌گیری ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی از جمله تشکیل آبخوان‌های کارستی در حوضه مورد مطالعه و چشمه‌های کارستی می‌باشد، که جریان خروجی از این چشمه‌ها قسمت زیادی از جریان پایه رودخانه مرگ را تامین می‌کند. و غالب مساحت آن از

سازندهای دولومیتی و شیل مارنی و نهشته‌های کواترنری پوشیده شده است رودخانه مرگ با طول ۴۰ کیلومتر و با توجه به اینکه متوسط ضریب خمیدگی بازه مورد مطالعه ۱/۴۸ بوده است در مجموع رودخانه دارای الگوی پیچان رودی می‌باشد. گسترش سیلاب در دره بازگشت‌های (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله) به‌طور متوسط ۱۰ تا ۲۶۰ متر از حد سواحل گسترش پیدا کرده است که در بازه سوم به دلیل افزایش میزان ضریب خمیدگی و توسعه الگوی پیچان رودی رودخانه و کاهش شیب، پهنه سیلاب بیشتر از سایر بازه‌ها بوده است و علاوه بر آن به دلیل افزایش اصطکاک و کاهش سرعت جریان، سیلاب به حداکثر گسترش خود رسیده است و تمامی پیچ‌های مثاندر رودخانه مرگ در معرض مخاطره سیلاب قرار دارد و همچنین با توجه بافت روستایی اطراف رودخانه مرگ، اکثر مراکز روستایی به خصوص در بازه سوم و غالب زمین‌های کشاورزی حاشیه رودخانه مرگ در معرض مخاطره

زیرحوضه‌هایی که فاقد ایستگاه هیدرومتری هستند و همچنین مدل یک بعدی HEC-RAS در پهنه-بندی سیلاب حوضه‌ها از دقت بسیار خوبی برخوردار است و این مدل قادر به ترسیم پهنه‌های سیلاب با توجه به مورفولوژی رودخانه می‌باشد. بنابراین می‌توان از مدل یک بعدی HEC-RAS برای رودخانه‌هایی که دارای اطلاعات توپوگرافی دقیق هستند استفاده نمود و نتایج قابل اعتمادی هم به دست آورد و در نهایت از نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب به دست آمده می‌توان به عنوان یکی از اطلاعات پایه و مهم در برنامه‌ریزی‌های عمرانی استفاده نمود.

سیلاب قرار گرفته‌اند و در بازه چهارم با توجه به اینکه میزان دبی بیشتر از سایر بازه‌ها بوده است اما به دلیل افزایش عمق نسبت به سایر بازه‌ها پهنه کمتری را نشان می‌دهد اگر محدوده پهنه سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف را جز منطقه آسیب-پذیر بدانیم اغلب مراکز روستایی در معرض مخاطره سیلاب قرار گرفته‌اند و می‌بایست در تمامی طول رودخانه مرگ توسعه آبی مناطق روستایی نیاز به برنامه‌ریزی بیشتری دارد. این مطالعه با نتایج سایر محققان از جمله شفیع مطلق (۱۳۹۹)، روستایی و همکاران (۱۳۹۹) و همچنین مهرورز و همکاران (۱۳۹۹) انطباق دارد که بیان می‌کند مدل‌های عددی HEC-HMS در برآورد دبی در بسیاری از

پانویس

1-Multi-Criteria Decision Approach (MCDA)
2-Scenariobased inundation analysis

3-Navier-Stoke
4-Bank Lines
5-basin model

منابع

رودخانه مارون - جنوب غرب ایران)، اکوهیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، ص ۳۹۷-۴۰۹.
-علیزاده، ا.، ۱۳۸۸. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۲۷، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، ۸۷۰ ص.
-مهرورز، ا.، مددی، ع.، اسفندیاری درآباد، ف. و رحیمی، م.، ۱۳۹۹. شبیه‌سازی سیلاب‌های رودخانه دره آئورت با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در محیط GIS (محدوده مورد مطالعه: از روستای شورستان تا تلاقی رودخانه ارس)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۸، شماره ۴، ص ۱۳۱-۱۴۶.
-مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر کرمانشاه، ۱۳۹۸. گزارش جامع خسارات سیل فروردین ۹۸، انتشارات استانداری کرمانشاه.

-حسین زاده، م.ح. و اسماعیلی، ر.، ۱۳۹۴. ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، مفاهیم اشکال و فرایندها، چاپ اول، مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۳۵۰ ص.
-روستایی، ش.، ایاسه، ف. و رضایی مقدم، م.ح.، ۱۳۹۹. شبیه‌سازی دو بعدی سیلاب رودخانه ليقوان با تاکید بر دشت سیلابی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۹، شماره ۱، ص ۲۸-۴۱.
-شفیعی مطلق، خ. و عبادتی، ن.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS (مطالعه موردی:

- Abderrezzak, K.E.K., Paquier, A. and Mignot, E., 2009. Modelling flash flood propagation in urban areas using a two-dimensional numerical model: *Natural Hazards*, v. 50, p. 433-460.
- Black, A.R. and Burns, J.C., 2002. Re-assessing the flood risk in Scotland: *Science of The Total Environment*, v. 294, p. 169-184.
- Brierley, G.L. and Fryirs, K., 2005. geomorphology and river management application of the river style framework, Blackwell Publishing: Malden, MA, 398 p.
- Bates, P.D. and De Roo, A.P.J., 2000. A simple raster-based model for flood inundation simulation: *Journal of Hydrology*, v. 236, p. 54-77.
- COON, W.F., 1996. Estimates of Roughness Coefficients for Selected Natural Stream Channels with Vegetated Banks in New York. U.S. Department of the Interior Bruce Babbitt, Secretary, 145 p.
- European Commission (EC)., 2007. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October, on the assessment and management of flood risks: *Official Journal of the European Union*, v. 288, p. 27-34.
- Ezzine, A., Saidi, S., Hermassi, T., Kammessi, I., Darragi, F. and Rajhi, H., 2020. Flood mapping using hydraulic modeling and Sentinel-1 image: Case study of Medjerda Basin, northern Tunisia: *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, v. 23, p. 303-310.
- Geravand, F., Mossa Hosseinia, S. and Ataie-Ashtiani, B., 2020. Influence of river cross-section data resolution on flood inundation modeling: Case study of Kashkan river basin in western Iran: *Journal of Hydrology*, v. 584, p. 1-15.
- Jahangir, M.H., Mousavi Reineh, S.M. and Abolghasemi, M., 2019. Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm: *Weather and Climate Extremes*, v. 25, p. 1-11.
- Lyu, H.M., Shen, S.L. and Zhou, A.Y., 2019. Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system: *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 76, p. 31-46.
- Mishra, K. and Sinha, R., 2020, Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach: *Geomorphology*, v. 350, p.1-69.
- Mejía-Navarro, M., Wohl, E.E. and Oaks, S.D., 1994. Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs Colorado: *Geomorphology and Natural Hazards*, v. 10(1), p. 331-354.
- Nkwunonwo, U.C., 2006. Meeting the Challenges of Flood Risk Assessment in Developing countries, With Particular Reference to Flood Risk Management in Lagos, Nigeria, University of Portsmouth, Portsmouth, United Kingdom, (Unpublished doctoral thesis).
- Parhi, P.K., 2018. Flood Management in Mahanadi Basin using HEC-RAS and Gumbel's Extreme Value Distribution: *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, v. 99, p. 751-755.
- Petit-Boixa, A., Seigné-Itoizb, E., Rojas-Gutierrezc, L.A., Barbassad, A.P., Josae, A., Rieradevalla, J. and Gabarrell, X., 2017. Floods and consequential life cycle assessment: integrating flood damage into the environmental assessment of storm water Best Management Practices: *Journal of Cleaner Production*, v. 162, p. 601-608.
- Shokri, A., Sabzevari, S. and Hashemi, S.A., 2020. Impacts of flood on health of Iranian population: Infectious diseases with an emphasis on parasitic infections: *Parasite Epidemiology and Control*, v. 9, p. 1-11.

-Schumann, A.H., Funke, R. and Schultz, G.A., 2000. Application of a geographic information system for conceptual rainfall-runoff modeling: *Journal of Hydrology*, v. 240 (1), p. 45-61.

-Voogd, J.H., 1983. *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*: Pion, London, 388 p.

-Zelenakova, M., Fijko, R., Labant, S., Weiss, E., Markovic, G. and Weiss, R., 2019. Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kru_zlov village, Slovakia: *Journal of Cleaner Production*, v. 212, p. 109-118.