

مقاله علمی-پژوهشی

## بررسی خطرپذیری و پهنه‌بندی سیلاب رودخانه تیره با استفاده از مدل HEC-RAS

محسن قائدرحمتی<sup>۱</sup>، مهناز قائینی حصاروئی<sup>۲</sup>، احسان فدائی کرمانی<sup>۳\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶

### چکیده

رودخانه تیره شهرستان دورود، واقع در شمال شرقی استان لرستان، در سال‌های متمادی شاهد وقوع سیل در حوزه دشتی سیلاخور بوده که بخش‌های مختلفی از اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و پل‌های ارتباطی شهرستان دورود را تحت تأثیر قرار داده است. در پژوهش حاضر، ابتدا با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و توپوگرافی و منطبق نمودن آنها با یکدیگر در محیط ArcGIS به تخمین اولیه شماره منحنی رواناب (CN) پرداخته شد. سپس با روابط SCS، زمان تمرکز (Tc) زیرحوزه‌ها تعیین شد و با کمک نرم‌افزار EsayFit، داده‌های رخداد بارش ساعتی دو ایستگاه در دسترس برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال محاسبه گردید. در ادامه با ورود DEM حوزه مربوطه به نرم‌افزار HEC-HMS، پارامترهای مهم هیدرولوژیکی استخراج شد و با استفاده از آن هیدروگراف‌های بارش - رواناب برای شرایط مرزی، جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب در نرم‌افزار HEC-RAS به دست آمد. نتایج نشان داد که پاسخ تأثیر تغییرات کاربری اراضی و تغییرات پارامترهایی همچون شماره منحنی رواناب (CN) و زمان تمرکز (Tc) در نرم‌افزار HEC-HMS باعث افزایش دبی اوج می‌شود که مقادیر به دست آمده برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب ۱۰۴، ۸۸، ۷۴، ۶۳ و ۴۸ درصد افزایش داشته است. سپس با توجه به شرایط جریان غیرماندگار رودخانه، با شبیه‌سازی بارش با دوره‌های بازگشت مختلف به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب و مشخص نمودن مناطق خطرپذیر در معرض سیلاب پرداخته شد. نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزار HEC-RAS نشان داد که، بر طبق ضابطه پیشنهادی نشریه ۸۲۱، سطوح خطر سیلاب برای دوره بازگشت ۲۵ سال و ۱۰۰ سال، نامن برای وسایل نقلیه و همه مردم و نیز امکان ایجاد خسارت سازه‌ای و خطرناک برای همه نوع ساختمان‌ها می‌باشد. در نهایت، مساحت سیل‌خیزی در حوزه مورد مطالعه برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب ۲۲۴۶، ۲۲۷۳، ۲۳۳۱، ۲۳۶۵ و ۲۵۲۴ هکتار به دست آمد. همچنین، زمان رسیدن سیلاب دوره بازگشت ۱۰۰ سال نسبت به ۲۵ سال، دو ساعت زودتر رخ می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی سیلاب، رودخانه تیره، شبیه‌سازی سیل، نرم‌افزار HEC-HMS، نرم‌افزار HEC-RAS

### مقدمه

کاهش اثرات سیل از قبل نیاز به مدل کردن دشت سیلابی می‌باشد (Jagadeesh and Veni, 2021). در سال‌های اخیر شبیه‌سازی عددی دشت سیلاب مورد توجه ویژه مهندسان قرار گرفته است. عملیات شبیه‌سازی، شامل مدل‌سازی و نیز شامل استفاده تحلیلی از آن برای مطالعه یک مسئله است. مدل‌سازی هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که امکان حل معادلات ریاضی حاکم با شیوه‌های تحلیلی وجود نداشته و هم انجام آزمایش‌ها و مشاهده پدیده‌ها در محیط واقعی آنها مشکل یا غیرعملی باشد (Dyhouse et al., 2007). یکی از پر استفاده‌ترین مدل عددی در حیطه مهندسی هیدرولیک و هندسی رودخانه در سه دهه اخیر مدل یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS می‌باشد، که توسط سیستم تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژی آمریکا ارائه گردیده است. نسخه جدید مدل HEC-RAS6.2، علاوه بر مدل‌سازی جریان‌های ماندگار، غیرماندگار، شبه‌غیرماندگار، سازه‌های تقاطعی و جانبی به صورت یک‌بعدی، از قدرت لازم برای مدل‌سازی دوبعدی جریان به‌ویژه در

سیل، طغیان آبی است که زمین را که معمولاً خشک است، زیر آب می‌برد. همچنین زمانی که نرخ جریان از ظرفیت کانال رودخانه به ویژه در خم‌ها و یا پیچان رودها در مسیر رودخانه فراتر رود، سیل می‌تواند رخ دهد. این امر منجر به آسیب رساندن به انسان‌ها و اموالی می‌شود که ساکن در دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها و یا در کناره‌های رودخانه‌ها باشند. به منظور تسهیل اقدامات مناسب برای

۱- فارغ التحصیل کارشناسی‌ارشد، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و

مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲- استاد، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر

کرمان، کرمان، ایران

۳- استادیار، بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر

کرمان، کرمان، ایران

(Email: e.fadaei@uk.ac.ir

\*) نویسنده مسئول:

زبری مانینگ برای هر مقطع با مدل هیدرولیک HEC-RAS پرداختند. نتایج نشان داد که، سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال حدوداً ۴/۴ کیلومتر مربع از اراضی دیم واقع در محدوده، ۲/۴ کیلومتر مربع از اراضی مرتعی، سطحی نزدیک به ۱/۴ کیلومتر مربع از اراضی مسکونی، ۱/۶ جاده و ۰/۲ از اراضی رها شده را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین ترتیب برای سایر دوره بازگشت‌ها نیز مشاهده شد که بیشترین سطح درگیر سیل به ترتیب به اراضی زراعی دیم، مراتع، جاده، اراضی مسکونی و زمین‌های رها شده مربوط می‌شود. عابدی‌کوپایی و بابایی (۱۳۹۸)، در پژوهشی به تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب و حریم بستر رودخانه زاینده‌رود توسط نرم‌افزار HECGeoRAS و ArcGIS با استفاده از روش ضریب مانینگ کووان با تعیین محدوده سیل‌گیر برای دوره‌های بازگشت‌های مختلف در تمامی مقاطع عرضی پرداختند. نتایج نشان داد که، از کل اراضی سیل‌گیر ۲۰۰ ساله، ۹۶ درصد اراضی سیل‌گیر مربوط به دوره بازگشت ۲۵ سال است.

دامادی و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به بررسی پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS دوبعدی در رودخانه سرباز استان سیستان و بلوچستان پرداختند. نتایج شبیه‌سازی به‌ترتیب 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 سال گردید و همچنین برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به‌ترتیب ۳۶۶/۸۶، ۳۹۷/۱۲، ۴۴۹/۹۵، ۵۸۰/۷۸ هکتار مساحت پهنه سیلاب حوزه آبخیز سرباز محدوده شهر راسک افزایش می‌یابد. مرادی‌نژاد و حسینی (۱۴۰۱)، در پژوهشی با استفاده از نقشه توپوگرافی مسیر، DEM و TIN از مسیر رودخانه شفاء با مقیاس ۱:۲۰۰۰، در بسته الحاقی HEC-GeoRAS در نرم‌افزار ArcMap، تعداد ۲۰۰ مقطع در طول ۵ کیلومتر رودخانه تهیه نمودند. دبی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال در جهت شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه به کار گرفته شد. با استفاده از رابطه‌های برآورد انتقال رسوب، ظرفیت انتقال رسوب رودخانه نشان داد، رابطه میر-پیتر و مولر با ۲۶ درصد خطا نسبت به روابط دیگر به مقادیر رسوبات مشاهداتی نزدیکتر می‌باشد. همچنین، بررسی وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه با استفاده از معیارهای هولشتروم و شیلدز نشان داد که قسمتی از مقاطع این رودخانه در وضعیت فرسایشی و قسمتی در حال رسوب‌گذاری قرار دارد.

کاستایل و همکاران، به بررسی عملکرد نسخه جدید HEC-RAS برای شبیه‌سازی‌های دوبعدی بارش-رواناب مبتنی بر هیدرودینامیک در مقیاس (مقایسه با یک مدل پیشرفته) حوزه کوچک با استفاده از معادلات کاملاً دینامیکی و موج‌پخشیدگی در شمال ایتالیا پرداختند. استفاده از یک معیار برای نقشه‌برداری کلاس خطر، تغییرات

سیلاب دشت نیز برخوردار می‌باشد. توانائی حل معادلات سنت-ونانت را در قالب دو فرم موج دینامیک و موج‌پخشیدگی برای مدل‌ساز فراهم می‌نماید (عزیزیان و صمدی، ۱۴۰۰). اغلب مهندسين و متخصصين هیدرولیک در جهان از این مدل برای برنامه‌ریزی شهری اولیه استفاده می‌کنند تا تأثیر سطوح بالقوه سیل بر جامعه را در نظر بگیرند (Dyhouse et al., 2007). در ادامه، با مروری بر تحقیقات گذشته در مورد شبیه‌سازی سیلاب با نرم‌افزار HEC-RAS یک‌بعدی و دوبعدی، تأثیر پارامترهای همچون رقوم ارتفاعی، ضریب زبری، پوشش گیاهی بر روند سیلاب و همچنین عمق و سرعت آن و در نهایت چگونگی تأثیر افزایش دوره‌های بازگشت بر مساحت سیل‌خیز و پهنه‌های سیلاب ارائه گردیده است.

بختیاری و همکاران (۱۳۹۱)، به مطالعه بررسی تأثیر سازه‌های عرضی بر روی پهنه سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS یک‌بعدی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS بروی رودخانه باراجین واقع در استان قزوین پرداختند. نتایج حاصل نشان‌دهنده دقت بالای ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار هیدرولیکی HEC-RAS یک‌بعدی در ارائه پهنه سیلاب و مدل‌سازی رودخانه می‌باشد. رضوی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲)، به مطالعه بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر خصوصیات سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز طالقان پرداختند. نتایج نشان داد که، به‌علت تغییرات کاربری اراضی و کاهش سطح اراضی کشاورزی و افزایش مراتع، دبی اوج و حجم سیل به ترتیب، به میزان ۱۶/۱۷ و ۱۳/۶ درصد کاهش یافتند. شکیب و شجاع‌رستگاری (۱۳۹۵)، در پژوهشی به بررسی تغییرات بستر و نقاط مناسب برداشت رسوب در بستر گرگان رود - زیرحوزه چهل چای استان گلستان به کمک GIS و نرم‌افزار HEC-RAS یک‌بعدی پرداختند. کریمی‌فیروزجایی و همکاران (۱۳۹۶)، به مطالعه بررسی طبقه‌بندی، تجزیه و تحلیل و تهیه نقشه خطر سیل با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی و پهنه عمق و سرعت رودخانه نکا برای دوره بازگشت‌های مختلف و سپس مناطق با درجات مختلف خطر از نظر انرژی جریان پرداختند. نتایج بیانگر آسیب‌پذیر بودن منطقه در برابر سیل با دوره بازگشت بالاتر از ۲۵ سال می‌باشد. با افزایش زمان دوره‌های بازگشت سیل، سطح منطقه تحت تأثیر سیل افزایش می‌یابد. در تمامی دوره‌های بازگشت سیل، بیشترین مساحت تحت پوشش از لحاظ میزان خطر از نوع خطر نسبی بسیار زیاد می‌باشد. نتایج پژوهش ضرورت برنامه‌ریزی و مدیریت راهکارهای حفاظتی جهت کاهش خسارات ناشی از سیل را نمایان می‌سازد. راد و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهشی به پهنه‌بندی سیل و نیم‌رخ سطح آب در دوره‌های بازگشت مختلف سیل در حوزه آبخیز خرم‌آباد واقع در استان لرستان با معرفی شرایط مرزی جریان، دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف، مقاطع عرضی و فاصله آنها و ضریب

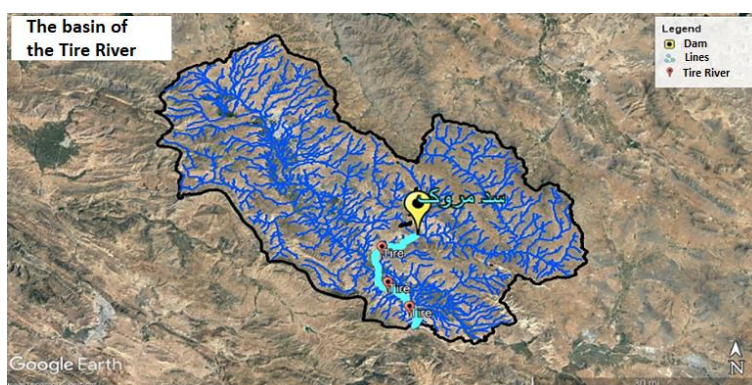
پیش‌تر، با مروری بر تحقیقات گذشته در مورد شبیه‌سازی سیلاب با نرم‌افزار HEC-RAS یک‌بعدی و دوبعدی، تاثیر پارامترهای همچون رقوم ارتفاعی، ضریب زبری، پوشش گیاهی بر روند سیلاب و همچنین عمق و سرعت آن و در نهایت چگونگی تاثیر افزایش دوره‌های بازگشت بر مساحت سیل‌خیز و پهنه‌های سیلاب ارائه گردید. در سال‌های اخیر، رودخانه تیره در شهرستان دورود واقع در شمال شرقی استان لرستان، بر اثر بارش‌های بالادست باعث ایجاد سیل‌هایی در دشت سیلاخور و قسمتی از شهرستان دورود شده است که خسارت‌های فراوانی را در پی داشته است. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر، به شبیه‌سازی عددی سیلاب برای رودخانه تیره با تکیه بر نرم‌افزار HEC-RAS دوبعدی پرداخته شده است. تهیه داده‌های اطلاعات جغرافیایی GIS موردنیاز برای حوزه‌های آبخیز و همچنین تحلیل داده‌های رخداد بارشی برای به‌دست آوردن هیدروگراف‌های بارش - رواناب برای دوره بازگشت‌های مختلف با کمک نرم‌افزار HEC-HMS انجام گرفته است. در نهایت، با استفاده از داده‌های موردنیاز تهیه شده از شرکت آب منطقه‌ای لرستان شامل رقوم‌های ارتفاعی و دی‌های سالانه رودخانه تیره که از سال ۱۳۳۶ تا اکنون موجود است، به تهیه مدل‌های پهنه‌بندی سیل برای رودخانه با کمک نرم‌افزار HEC-RAS 6.2 پرداخته شده است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر، می‌تواند اطلاعات سودمندی جهت شناسایی نواحی خطرپذیر و نیز خصوصیات دشت سیلابی را فراهم نماید که ابزار مناسبی جهت مدیریت صحیح سیلاب در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان قرار می‌دهد.

## مواد و روش‌ها

### هندسه و مساحت حوزه‌های اصلی محدوده‌ی مورد مطالعه با نرم‌افزار WMS

اطلاعات هندسی تحقیق از MERGE کردن DEM ساخته شده از داده‌های توپوگرافی برداشتی رودخانه تیره توسط نقشه‌بردار که معادل ۹ کیلومتر می‌باشد و نیز استفاده از DEM 28 متری استخراج شده از USGS حاصل شده است. نرم‌افزار WMS یک نرم‌افزار هیدرولوژیکی است که می‌توان به کمک آن آبراهه و زیرحوزه‌های حوزه آبریز اصلی را تشکیل داده و به نمایش گذاشت. رودخانه تیره از سه حوزه اصلی اشرینان، میرقاسم و دورود- بروجرد تشکیل شده است. با کمک نرم‌افزار WMS، شاخه‌های اصلی آبراهه و سه حوزه آن در Google Earth طبق شکل ۱ نمایش داده شده است. آنالیز و مقایسه مساحتی سه حوزه به‌دست آمده از نرم‌افزار با داده‌های واقعی که بر طبق جدول دستورالعمل تقسیم بندی کدگذاری حوزه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور، تعیین شده است مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

قابل توجهی را بین دو مدل نشان داد. نتایج، نشانه‌های عملی را برای جامعه مهندسی آب در زمینه تحقیقاتی نوآورانه مربوط به استفاده از SWEs دوبعدی در مقیاس حوزه ارائه می‌دهد (Costabile et al., 2020). دیسالین و مولو، به بررسی نقشه‌های مناطق طغیان سیل با استفاده از مدل GIS و HEC-RAS در رودخانه فتم، حوزه آبی بالادست، اتیوپی پرداختند. نتایج نشان داد که، مناطق ساخته شده و مزارع کشاورزی در امتداد سواحل رودخانه قرار دارند و به شدت مستعد سیل هستند. مناطق آبرگرفته به‌ویژه از Achigi, Abaya Kalo و Denbun kebeles برای تمام دوره‌های بازگشت بالا بود. این مناطق پرآب در حاشیه رودخانه فتم به‌ترتیب ۱۳/۷۸، ۱۷/۳۴، ۲۰/۴۷، ۲۴/۸۵ و ۲۷/۳۱ کیلومتر مربع برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله است. به‌طور کلی این مطالعه نشان داد که، مناطق سیلابی در قسمت‌های بالادست و میانی رودخانه فتم به نسبت قسمت‌های پایین‌دست زیاد است (Desalegn and Mulu, 2021). تیمرو و واگاری، در پژوهشی مدل‌های ANN و HEC-RAS به‌ترتیب به‌عنوان یک مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی پیش‌بینی‌کننده برای تولید رواناب و میزان سیل رودخانه بارو، اتیوپی ادغام کردند. بارش روزانه و داده‌های دمایی ۷ ساله (۱۹۹۹-۲۰۰۵)، دی‌ روزانه (۱۹۹۹-۲۰۰۵) و شبکه‌بندی ۳۰m×۳۰m شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) برای آموزش یک مدل هیدرولوژیکی ANN پیش‌بینی‌کننده در RStudio استفاده شد. عملکرد پیش‌بینی مدل هیدرولوژیکی ANN توسعه‌یافته در RStudio با استفاده از مقادیر کارایی (NSE)، به‌ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۸ در طول دوره آموزش (۱۹۹۹-۲۰۰۵) و دوره آزمون (۲۰۰۶-۲۰۰۸)، با داده‌های مشاهداتی ارزیابی شد (Tamiru and Wagari, 2022). شیخ و همکاران، به بررسی استفاده از آخرین نسخه 6 HEC-RAS برای مدل‌سازی هیدرودینامیکی دوبعدی از طریق چارچوب GIS از دشت سیلابی شهری ساحلی در هند پرداختند. نتایج سیل شبیه‌سازی شده در مقایسه با نقشه سطح سیل مشاهده شده سال ۲۰۰۶ با مقادیر ضریب همبستگی  $R^2 = 0.96$ ،  $NSE = 0.90$ ، و جذر میانگین مربعات  $RMSE = 0.66$  متر را نشان داد. علاوه بر این، شبیه‌سازی اطلاعاتی مانند عمق سیلاب، سرعت جریان، زمان رسیدن سیلاب را به‌دست آورد. ناحیه غرب و شمال شهر سورت از نظر توپوگرافی مناطق کم ارتفاعی هستند و با گستردگی بیشتر سیل، عمق آب بیشتر و طول مدت سیل بیشتر در معرض سیلاب هستند (Shaikh et al., 2023). دریجانی و همکاران در تحقیقی به پهنه بندی و تعیین نقشه‌های خطرپذیری سیلاب برای رودخانه آدوری در ایران پرداختند. مدل هیدرولوژیکی با داده‌های واقعی مربوط به سیلاب سال ۲۰۱۶ مقایسه گردید. نتایج از دقت قابل قبول مدل حکایت داشت. در نهایت با مدلسازی هیدرولیکی سیلاب و تعیین پارامترهای جریان، نقشه‌های پهنه بندی و خطرپذیری تعیین گردید (Darijani et al., 2025).



شکل ۱- انطباق شبکه آبراهه و حوزه تشکیل شده با نرم افزار WMS بروی Google Earth

جدول ۱: مقایسه مساحت حوزه‌های اصلی محدوده مورد مطالعه توسط نرم افزار WMS

حوزه‌ها	مساحت طبق تقسیم‌بندی داده‌های واقعی (کیلومتر مربع)	مساحت طبق نرم افزار WMS (کیلومتر مربع)	درصد خطا
اشترینان	۳۶۰/۴۰	۴۰۸/۲۳	۱۳/۲۷
دورود- بروجرد	۲۵۴۵/۸۰	۲۰۷۲/۴۷	۱۸/۵۹
میرقاسم	۹۷۹/۱۰	۹۲۷/۸۶	۵/۵۰

HEC-RA, HECHMS, WMS, ArcGIS استفاده می‌شود که در ادامه تمامی این مراحل به تفصیل ارائه شده است.

#### توزیع میانگین‌گیری داده‌های آماری بارش و دبی روزانه

برای به دست آوردن بیشترین مقدار بارش روزانه جهت برآورد دوره بازگشت‌های مختلف برای آمار حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (روزانه)، ابتدا با عملیات تیسین بندی در نرم افزار ArcGIS به مساحت تاثیر هر ایستگاه میانگین وزنی آنها محاسبه شد. سپس با استفاده از نرم افزار EasyFit توزیع‌های مختلف آماری نظیر Gen Pareto, Max Gumbel, Gen. Extreme Value, Johnson SB, Logistic, Hyper secant, Normal برآزش شد.

#### پیاده سازی مدل سازی عددی سیلاب

در ابتدا داده های اولیه تحقیق شامل مطالعات هیدرولوژیکی، داده های زمین شناسی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، جمع آوری شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. صحت داده های اولیه نقش بسیار مهمی در دقت نتایج حاصل از مدل سازی خواهد داشت. لذا در گام اول تحلیل های آماری بر روی داده ها انجام می پذیرد تا نتایج قابل استفاده باشد. سپس پس از تعیین هیدروگراف های جریان، با اعمال شرایط مرزی مدل سازی هیدرولیکی سیلاب انجام پذیرفته و پارامترهای جریان تعیین می گردد. در نهایت به تهیه نقشه های پهنه بندی سیلاب و مشخص نمودن مناطق خطر پذیر پرداخته می شود. در این فرایند از نرم افزارهای محاسباتی و تحلیلی EASYFIT،

جدول ۲- مساحت و میانگین وزنی هر ایستگاه

ایستگاه مقادیر	تیره دورود	مروک	چالانچولان (رحیم آباد)	شیروان	سازمان بروجرد	بروجرد- کشاورزی	سراب ونایی	گلرود ونایی	اشترینان	ایستگاه زیرحوزه
مساحت (km <sup>2</sup> )	۰	۰	۰	۰	۲۷/۷۸	۲۴/۸۵	۰	۱۲۰/۱۳۷	۲۳۵/۴۷	اشترینان
درصد وزنی	۰	۰	۰	۰	۰/۰۶۸	۰/۰۶۰۸	۰	۰/۲۹۴	۰/۵۷۷	۴۰۸/۲۳ km <sup>2</sup>
مساحت (km <sup>2</sup> )	۳۹۷/۶۹	۲۶۶/۲۹	۳۷۳/۶۶	۴۶۰/۸۹	۲۸۵/۱۱۹	۷۴/۵۳	۱۹۲/۳۹	۲۰/۹۰	۰	بروجرد-دورود
درصد وزنی	۰/۱۹۲۱	۰/۱۲۸	۰/۱۸	۰/۲۲۳	۰/۱۳۷	۰/۰۳۶	۰/۰۹۳۳	۰/۰۱	۰	۲۰۷۲/۴۶۹ km <sup>2</sup>
مساحت (km <sup>2</sup> )	۰	۹۲۷/۸۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	میرقاسم
درصد وزنی	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۲۷/۸۶ km <sup>2</sup>

این روش‌ها برای به‌دست آوردن کاربری اراضی، استفاده از پایگاه داده‌های جغرافیایی و مکانی موجود در سایت معتبر و به‌روزرسانی شده می‌باشد. (شکل ۴). مشخصات و مساحت هر یک از انواع کاربری اراضی در جدول ۳ ارائه شده است.

مطابق جدول ۴، پس از استخراج لایه‌های خاک، کاربری اراضی مربوطه کدگذاری شده و مطابق گروه‌های هیدرولوژیکی خاک از رده A تا D دسته‌بندی شده است. سپس در محیط ArcGIS دو لایه ادغام شده و شماره منحنی (CN) متناظر به‌دست آمده است. مطابق شکل ۵، میزان تغییرات (CN) برای هر یک از زیرحوزه‌های موردمطالعاتی استخراج شده است.

### روابط زمان تمرکز و زمان تاخیر به روش SCS

برای بررسی به وجود آمدن جریان‌های سطحی (رواناب) توسط بارش‌ها در حوزه، یکی از روش‌های مورد استفاده روش SCS می‌باشد. این روش توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا ارائه شده است. طبق شماره منحنی‌های به‌دست آمده برای هر زیر حوزه و جایگذاری آنها در روابط ۱ الی ۶ مقادیر زمان تمرکز (Tc) تهیه شد و برای به‌دست آمدن هیدروگراف‌های شبیه‌سازی رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chow et al., 1988).

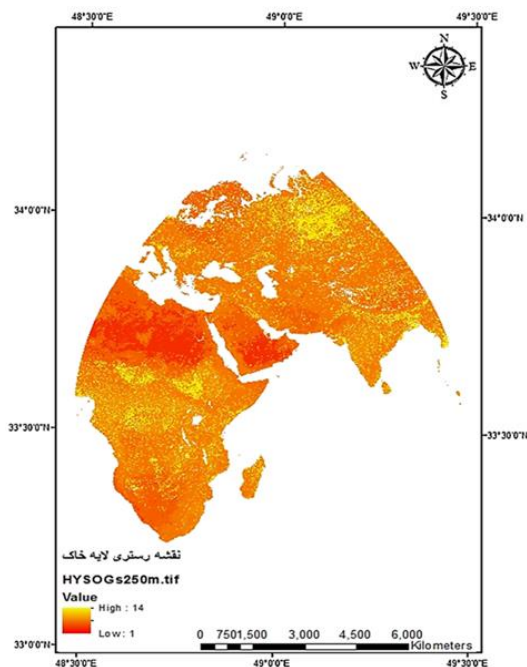
در نهایت بهترین توزیع از میانگین‌گیری برای دوره بازگشت‌های مختلف انتخاب شده است. بهترین توزیع آماری طبق آزمون‌ها با نرم‌افزار EasyFit انتخاب شده و دبی با دوره بازگشت‌های مختلف تعیین گردیده است. در جدول ۲ نتایج حاصل برای هر یک از حوزه‌ها ارائه شده است.

### استخراج لایه خاک حوزه آبریز

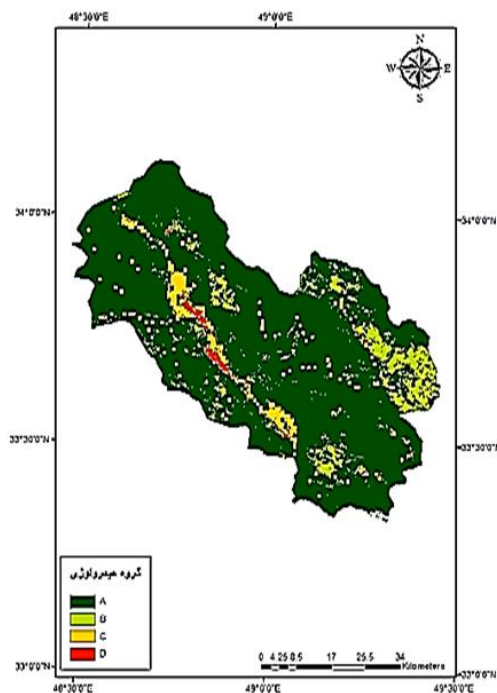
برای استخراج داده‌های خاک منطقه مورد مطالعه، از محیط EARTH DATA استفاده شده است که با دانلود کردن باندهای داده‌ای گروه خاکی هیدرولوژیکی با وضوح ۲۵۰ متری ( HYSOGs 250m)، نتایج شکل ۲ حاصل شده است. پس از فراخوانی در محیط ArcGIS، نتایج از حالت رستری به پلیگون تبدیل شده و نوع خاک هر نواحی به‌صورت جداگانه مشخص شده است (شکل ۳).

### استخراج لایه کاربری اراضی، ترکیب لایه‌ها و به‌دست آوردن شماره منحنی رواناب

لایه کاربری اراضی مشخص می‌نماید که در هر محیطی از حوزه آبریز مورد مطالعه از چه نوع کاربری و با چه سطحی پوشش داده است و در استخراج شماره منحنی رواناب CN حائز اهمیت می‌باشد. برای استخراج فایل‌های پلیگونی روش‌های متعددی وجود دارد که، یکی از



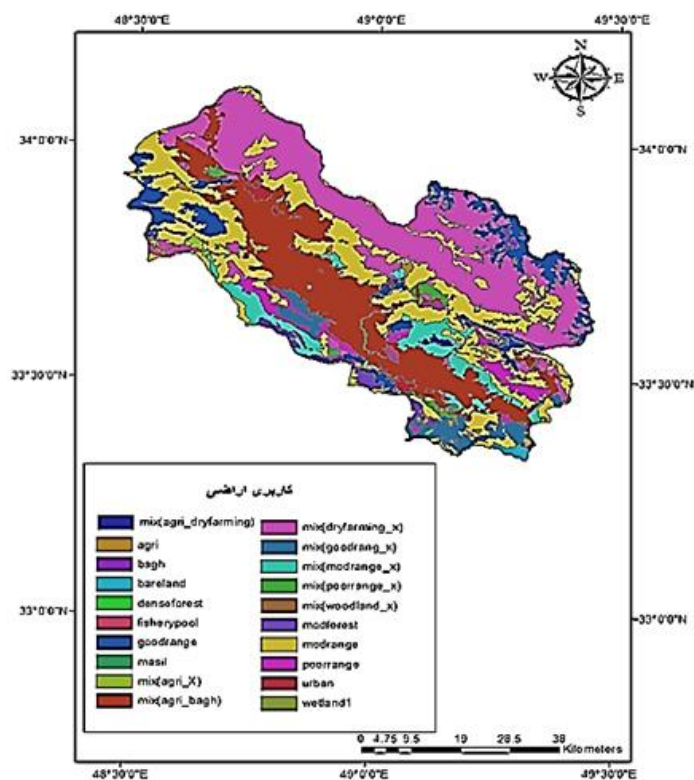
شکل ۲- باند استخراجی گروه خاکی هیدرولوژیکی HYSOGs250m از سایت EARTH DATA



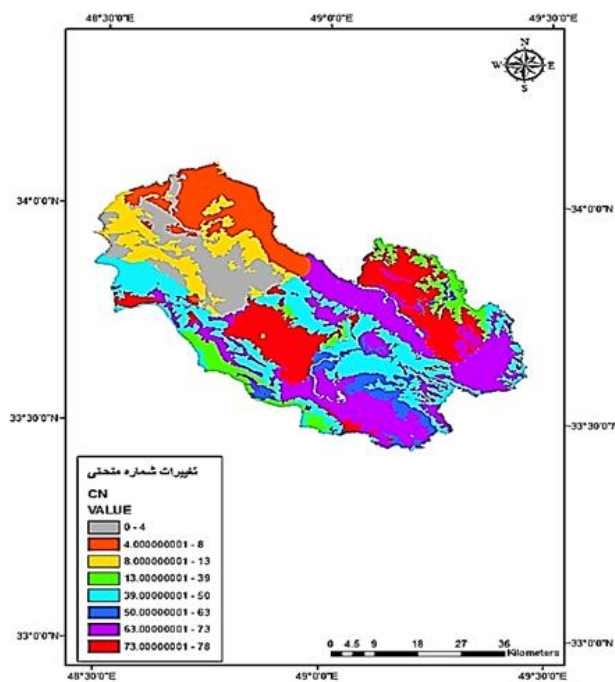
شکل ۳- لایه بندی خاک حوزه مورد مطالعه

جدول ۳- مشخصات هریک از کاربری اراضی

ردیف	نام	توضیحات	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	AGRI	زمین کشاورزی	۴۸/۵۰
۲	BAGH	باغات	۱۶
۳	BARELAND	زمین بایر	۱۵/۸۰
۴	DENSE FOREST	جنگل های انبوه	۱/۱۰
۵	FISHERYPOOL	مخزن آب	۳/۱۵
۶	GOODRANGE	پوشش گیاهی خوب	۳۵۸
۷	MASIL	سیلاب دشت رودخانه	۵
۸	MIX(AGRI-X)	تلفیق زمین زراعی	۸۲۳
۹	MIX(AGRI-BAGH)	تلفیق زمین زراعی و باغ	۳
۱۰	MIX(AGRI-DRYFARMING)	تلفیق زمین زراعی و کشاورزی	۱۵
۱۱	MIX(DRYFARMING)	تلفیق زمین کشاورزی	۱۰۴۲
۱۲	MIX(GOODRANG)	تلفیق پوشش گیاهی خوب	۱۳۸
۱۳	MIX(MODRANGE)	تلفیق پوشش گیاهی متوسط	۲۰۶
۱۴	MIX(POORRANGE)	تلفیق پوشش گیاهی فقیر	۳۸
۱۵	MODFOREST	جنگل متوسط	۵۵
۱۶	MODRANGE	متوسط	۹۳۷
۱۷	POORRANGE	فقیر	۱۳۷
۱۸	URBAN	شهری	۴۳
۱۹	WETLAND	زمین باتلاقی	۳/۵۰



شکل ۴- کاربری‌های موجود در محدوده تحقیقاتی استخراج شده از ARCGIS



شکل ۵- مقادیر شماره منحنی رواناب (CN) محدوده‌ی مورد مطالعه

جدول ۴- جدول گروه هیدرولوژیکی خاک (Brunner., 2021)

نوع خاک	توانایی تولید رواناب	شدت نفوذ Cm/hr	گروه هیدرولوژیکی خاک
شنی- شنی لومی	کم	6.7 >	A
لومی شنی- لومی	متوسط	6.8-7.3	B
لومی سیلتی- لومی رسی شنی	نسبتاً زیاد	8.3-3.1	C
لومی رسی لومی رسی سیلتی- رسی شنی- رسی سیلتی رسی- خاکهای شور	خیلی زیاد	3.1	D

قابلیت استخراج زیرحوزه‌های و خصوصیات فیزیوگرافی موردنیاز شبیه‌سازی را دارا می‌باشد. در ادامه مراحل مدل‌سازی، تشکیل فرایند شبیه‌سازی هیدرولوژی حوزه و استخراج هیدروگراف سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال آورده شده است.

#### اطلاعات تراز ارتفاعی

در جهت اجرای مدل HEC-HMS، ابتدا خصوصیات هیدرولوژی حوزه در یک فایل تهیه می‌شود. استخراج خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوزه و رودخانه با تعریف لایه BASIN و TRRAIN صورت می‌گیرد. پس از ایجاد و ارتباط دولایه با هم، نقشه فراخوانی شده و در جهت استخراج عناصر هیدرولوژیکی حوزه با انجام مراحل پنجره GIS به صورت شماتیک ترسیم شده است. نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است.

#### مشخصات شماره منحنی و زمان تمرکز

در این مرحله، مدل با استفاده از روش SCS برای رویدادهای بارش-رواناب مشاهده شده اجرا می‌گردد. بنابراین با توجه به گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه، پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعاتی، میزان CN برای هر یک از زیرحوزه‌های مدل HEC-HMS محاسبه و برآورد شده است. در جدول ۵ نرخ تغییرات CN در زیر حوزه‌های محدوده مطالعاتی ارائه شده است.

جدول ۵- میزان نرخ تغییرات CN در زیرحوزه‌های محدوده مطالعاتی

ردیف	زیرحوزه	نرخ تغییرات شماره منحنی CN	
		MAX	MIN
۱	SUBBASIN1	۷۹/۷۵	۲۵
۲	SUBBASIN2	۷۸	۳۹
۳	SUBBASIN3	۷۷	۴۵
۴	SUBBASIN4	۷۲	۵۰
۵	SUBBASIN5	۷۶	۳۹
۶	SUBBASIN6	۷۷	۳۰
۷	SUBBASIN7	۷۷	۳۶

$$t_c = \frac{L^{0.8} \times ((\frac{1000}{CN} - 9))^{0.7}}{4407 \times S} \quad (1)$$

$$t_p = 0/6 t_c + \sqrt{t_c} \quad (2)$$

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0/8S} \quad (3)$$

$$Q_p = \frac{0.0208 \times A \times Q_d}{t_p} \quad (4)$$

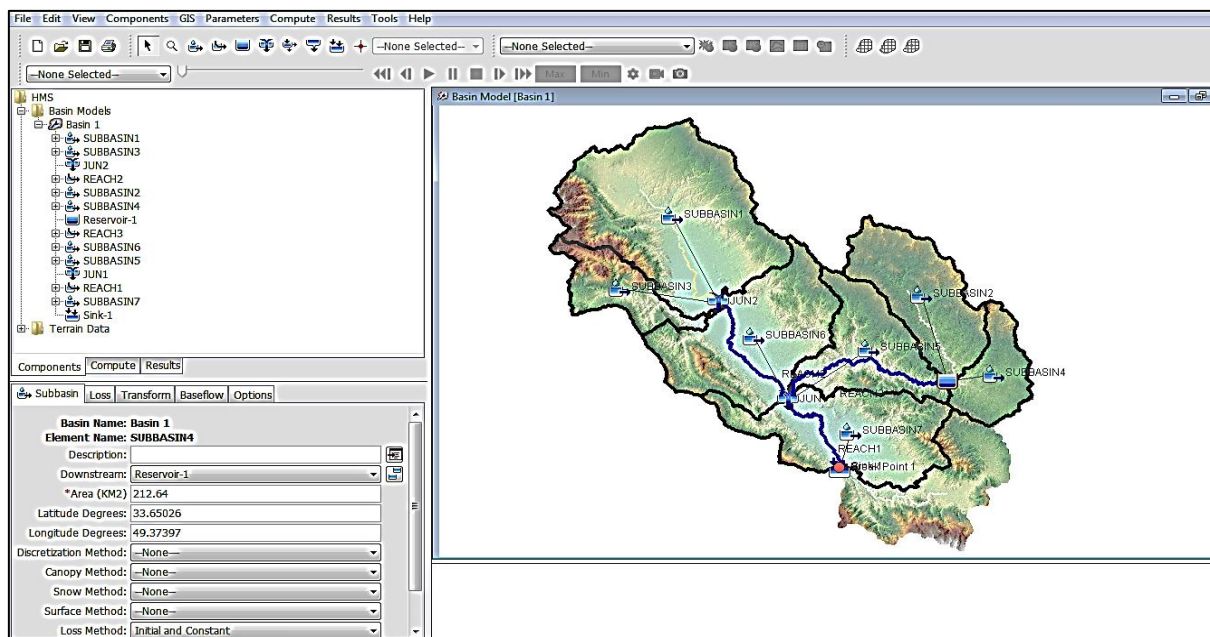
$$T_c = 1.67 T_{lag} \quad (5)$$

$$CN = \frac{25400}{25.4 + S} \quad (6)$$

در روابط ۱ الی ۶  $T_c$  زمان تمرکز بر حسب (ساعت)،  $Q_d$  ارتفاع رواناب (سانتیمتر)،  $P$  میزان بارندگی بر حسب سانتیمتر،  $S$  ضریب نگهداشت رطوبت سطحی،  $CN$  شماره منحنی رواناب،  $L$  طولانی‌ترین مسیر جریان در حوزه (متر)،  $t_p$  زمان اوج بر حسب ساعت،  $A$  مساحت حوزه بر حسب هکتار،  $Q_p$  حداکثر دبی رواناب متر مکعب بر ثانیه است.

#### شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه مطالعاتی

خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه مورد مطالعه با استفاده از آمار و اطلاعات بارش رخدادی سیلاب که از داده‌های موجود مربوط به سیلاب رخداد ۲۵ ساله، به دست آمده است مورد بررسی قرار گرفته است (شرکت سهامی آب منطقه ای استان لرستان، ۱۳۹۲). همچنین نرم‌افزار HEC-HMS نسخه 4.10 مورد استفاده قرار گرفته است که

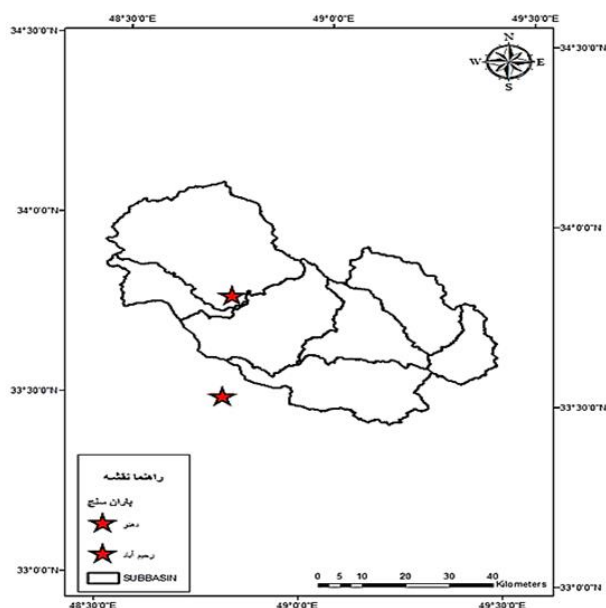


شکل ۶- تصویر زیرحوزه‌ها و شیوه ارتباط آن‌ها در مدل HEC-HMS

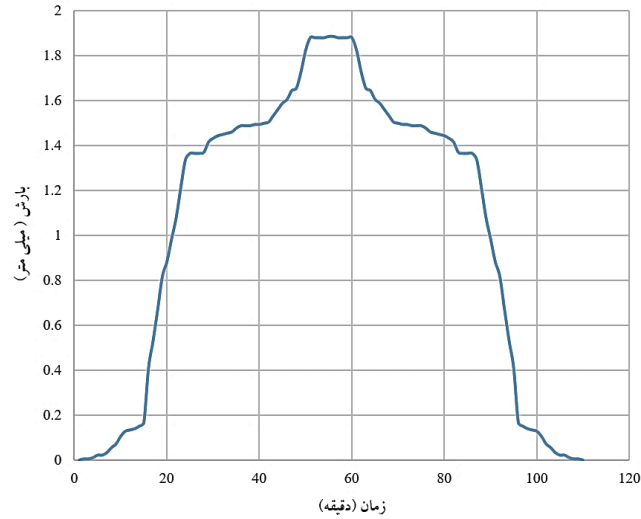
منطقه که رخداد بارش را ثبت کرده‌اند شامل ۲ ایستگاه می‌باشد. با توجه به رابطه تیسن میزان بارش در زیرحوزه‌ها برای دوره‌های بازگشت مختلف تعریف شد. برای این منظور مقادیر بارش در مدل در بخش Time series تعریف گردید. در نهایت بارش رخدادی سیلاب باری ایستگاه‌های دهنو و رحیم آباد استخراج گردید. نتایج در شکل ۸ ارائه شده است.

#### داده‌های آماری موردنیاز

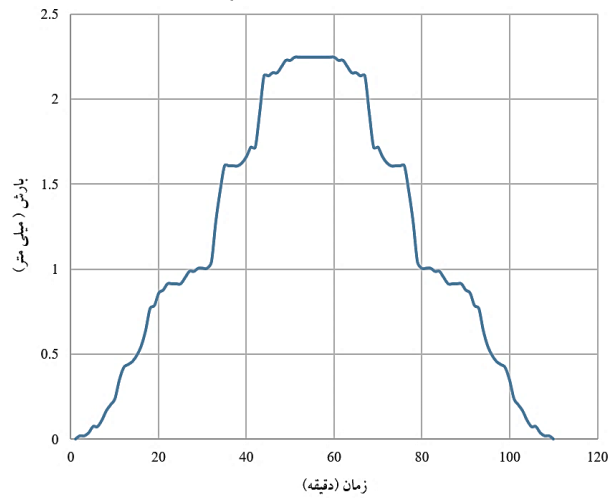
در پژوهش حاضر، در راستای شبیه‌سازی سیلاب تحت رخدادهای بارش، دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا بارش هر یک از رخدادهای بایستی تعریف گردد. از این رو با توجه به پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی در منطقه با توجه به تیسن بندی، تاثیر میزان هر بارش در زیرحوضه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مطابق شکل ۷، ایستگاه‌های باران‌سنجی در



شکل ۷- پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنج دارای آمار سیلاب منطقه



(الف) ایستگاه دهنو



(ب) ایستگاه رحیم‌آباد

شکل ۸- رخداد بارش ایستگاه‌ها



شکل ۹- نمایی از پلان رودخانه و محدوده مورد مطالعاتی رودخانه تیره

تشکیل شده است که در بخشی از مسیر یکپارچه می‌گردد. برای این منظور در جهت بهبود فرایند مدل‌سازی و نیز استخراج پهنه سیل و

شبکه جریان و تراز ارتفاعی رودخانه محدوده مورد مطالعاتی از دو شبکه رودخانه مجزا از یکدیگر

می باشد که دارای اندازه سلول مناسبی برای مدل سازی جریان، سطح آب و پهنه سیل بر روی زمین باشد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل در جدول ۶ ارائه شده است.

$$C = u \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 0.9 \quad (7)$$

که در رابطه ۷،  $u$  سرعت جریان،  $\Delta t$  گام زمانی،  $\Delta x$  گام مکانی می باشد.

$$R^2 = \left[ \frac{(\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}) \times (p_i - \bar{p}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \times \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \right]^2 \quad (8)$$

که در رابطه ۸،  $n$ : تعداد مشاهدات،  $o_i$ : مقادیر مشاهداتی،  $p_i$ : مقادیر شبیه سازی شده،  $\bar{o}$ : میانگین مقادیر مشاهد شد و  $\bar{p}$ : میانگین مقادیر پیش بینی شده می باشد.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i^{obs} - p_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (o_i^{obs} - p_i^{mean})^2} \quad (9)$$

که در رابطه ۹،  $o_i^{obs}$ : مقادیر مشاهداتی،  $p_i^{sim}$ : مقادیر شبیه سازی شده،  $p_i^{mean}$ : میانگین مقادیر مشاهداتی می باشد.

$$EP = \frac{\sum (o_i^{obs} - p_i^{sim})}{\sum o_i^{obs}} \times 100 \quad (10)$$

که در رابطه ۱۰،  $p_i^{sim}$ : مقادیر شبیه سازی شده به سبیله مدل،  $o_i^{obs}$ : مقادیر مشاهداتی می باشد.

تاثیر آن بر مناطق شهری، اقدام به ایجاد شبکه محاسباتی از سرشاخه هر کدام به انتهای رودخانه گردید. در این راستا در مدل دوبعدی HEC-RAS 6.2، ابتدا نقشه مدل رقوم ارتفاعی DEM در محیط ras mapper معرفی شد و با دقت ۲۸ متر از سایت USGS تهیه گردید. سپس به همراه نقشه مسیر شبکه یکپارچه که فایل AUTO CAD از سازمان آب منطقه ای استان تهیه شده است، با نقشه DEM ترکیب شد و به مدل معرفی گردید. شکل ۹، محدوده مورد مطالعاتی رودخانه تیره را نشان می دهد.

به منظور واسنجی مدل، ابتدا بایستی دبی جریان مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. بدین منظور با تغییر دادن ابعاد شبکه محاسباتی میزان نرخ ضریب مانینگ در جهت برآورد جریان و رفتار آن در طول مسیر شبکه رودخانه و سیلاب دشت مورد ارزیابی قرار گرفت. ابعاد شبکه محاسباتی تاثیر بسزایی در استخراج هیدروگراف سیلاب، سرعت، عمق جریان دارد. به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل، از شاخص های آماری ضریب تعیین ( $R^2$ )، درصد خطا (EP) و ضریب نش ساتکلیف (NSE) استفاده شده است که در ادامه در روابط (۸) تا (۱۰) تعریف شده اند. انتخاب اندازه مناسب شبکه محاسباتی ( $\Delta x$ ) و گام زمانی ( $\Delta T$ ) نقش بسیار مهمی در دقت پاسخ های شبیه سازی جریان دوبعدی دارد. بر طبق رابطه کورانت، چنانچه ابعاد شبکه محاسباتی و گام زمانی به درستی انتخاب نشود، پایداری مدل سازی تامین نمی شود (معادله ۷). اولین گام، توسعه یک شبکه محاسباتی

جدول ۶- انتخاب بهترین ابعاد شبکه محاسباتی

ابعاد شبکه (m <sup>2</sup> )	گام زمانی	R <sup>2</sup>	NSE	درصد خطا
۱۰×۱۰	۳۰ ثانیه	۰/۸۵	۰/۷۲	۵
۲۰×۲۰	۳۰ ثانیه	۰/۸۲	۰/۷۰	۸
۳۰×۳۰	۳۰ ثانیه	۰/۷۸	۰/۶۸	۲۰

بستر و منحنی دبی اشل می باشد. در مسیرهای که دارای پل ها و تاسیسات رودخانه ای می باشد، برای حذف خطاهایی نظیر برگشت آب از وجود این موانع و تاثیر بر پروفیل سطح آب، بهترین گزینه استفاده از منحنی دبی- اشل به عنوان شرایط مرزی پایین دست می باشد. اگر جریان از نوع زیربحرانی باشد، بایستی شرایط مرزی در بالادست و پایین دست اعمال شود و اگر جریان فوق بحرانی باشد، شرایط مرزی بالادست و در صورتیکه هر دو حالت به صورت مختلط باشد از هر دو شرایط مرزی بالا و پایین استفاده می گردد. شرایط ایجاد شده مرزی در نرم افزار HEC-RAS شامل مواردی مانند عمق بحرانی، عمق نرمال، سطح آب مشخص و هیدروگراف تراز آب می باشد. از این رو در مدل سازی هیدرولیکی جریان میزان دبی ورودی در بالادست تعریف شد، همچنین میزان عمق نرمال به عنوان شرط مرزی پایین دست تعریف گردید.

### شرایط مرزی بالادست و پایین دست

در این تحقیق مدل سازی برای ایجاد پهنه سیلابی بر مبنای جریان غیردائمی انجام شده است. پس از وارد کردن اطلاعات هندسی، هیدروگراف سیلاب وارد شده است. ویژگی داده های جریان ورودی با استفاده از نوع تحلیل مورد نظر تعیین می گردد. شیوه جریان غیردائمی، تخمین هیدروگراف جریان با استفاده از یک سری هیدروگراف جریان غیردائمی متناظر با مدت زمان بارش است. به منظور پیش بینی روند سیلاب در یک بازه، بایستی شرایط مرزی برای آن بازه مشخص شود که در نتیجه نشان دهنده وضعیت ورودی و خروجی جریان اعم از بالادست و پایین دست در بازه مورد بررسی می باشد. برای جریان های زیربحرانی شرایط مرزی در پایین دست که خود شامل چهار نوع شرط مرزی است، قابل تعریف می باشد. این موارد حاوی هیدروگراف تراز سطح آب، هیدروگراف جریان، شیب

## ضریب زبری مانینگ

برای بررسی و مشخص نمودن عوامل هیدرولیکی نظیر عمق و سرعت جریان، لازم به مشخص کردن ضریب زبری است. در همه تحقیقات مهندسی رودخانه و طراحی سازه‌های متقاطع رودخانه، وجود عمق و سرعت جریان لازم است. از این رو تعیین دقیق ضریب زبری مورد نیاز است. همچنین یکی از مولفه‌های که در مدل سازی به عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد ضریب زبری می‌باشد. در مدل دوبعدی HEC-RAS این امکان فراهم شده است که کاربر با تعریف

نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه، بتواند محدوده ضریب زبری مانینگ در جهت شبیه‌سازی رفتار جریان و تهیه نقشه‌های پهنه-بندی سیلاب را مشخص نماید. لازم به ذکر است که محدوده ضریب زبری مانینگ با توجه به استاندارد جداول پیشنهادی و نظرات کارشناسان مدیریت منابع آب منطقه، مقدار ضریب زبری مانینگ تعیین می‌گردد. در جدول ۷ این مقدار برای کاربری‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۷- مقادیر ضریب زبری مانینگ (Chow et al., 1988)

مقدار حداکثر	مقدار حداقل	نوع کاربری	ردیف
۰/۰۵۰	۰/۰۳۰	مراتع متراکم	۱
۰/۰۵۰	۰/۰۲۰	زمین کشاورزی	۲
۰/۰۷۰	۰/۰۳۵	مراتع پراکنده و علف هرز	۳
۰/۱۶۰	۰/۰۴۵	مراتع متوسط تا متراکم درخچه	۴
۰/۰۸۰	۰/۰۳۰	زمین با کنده های درخت	۵
۰/۰۷۰	۰/۰۲۵	شبکه آبراهه	۶
۱/۰۰۰	۰/۰۷۰	سنگلاخ	۷
۰/۰۴۰	۰/۰۲۰	زمین زراعی بدون گیاه	۸
۰/۱۲۰	۰/۰۸۰	جنگل کم تراکم	۹
۰/۰۵۰	۰/۰۳۰	زمین کشاورزی و باغ	۱۰
۰/۰۲۰	۰/۰۴۰	تلفیق مراتع متوسط تا متراکم درخچه و جنگل	۱۱
۰/۰۲۰	۰/۱۱۰	جنگل متراکم	۱۲

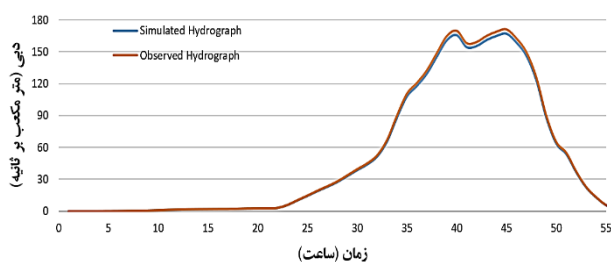
## اعتبارسنجی هیدروگراف‌ها و تغییر پارامترهای سیلاب

پس از اعمال تنظیمات مورد نیاز جهت استخراج زیرحوزه‌های محدوده‌ی مورد مطالعه و وارد نمودن میزان شماره منحنی، زمان تمرکز و بارش رخدادی به اجرای مدل HEC-HMS، نسبت به ارائه خروجی به صورت ساعتی در جهت استخراج هیدروگراف سیلاب برای هر رخداد بارش پرداخته شده است. سپس هیدروگراف استخراج شده با هیدروگراف مشاهده‌ای برای سیلاب دوره بازگشت ۵ و ۲۵ سال ثبت شده ایستگاه مقایسه گردید. مطابق جدول ۸، واسنجی و صحت سنجی هر یک از بازه‌ها براساس شاخص RMSE انجام شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده از شاخص‌های آماری و مقایسه با تحقیقات گذشته ( Mokhtar et al., 2018, Darijani et al., 2025 )، می‌توان دریافت که نتایج حاصل از مدل سازی از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد. از طرف دیگر در شکل های ۱۰ و ۱۱

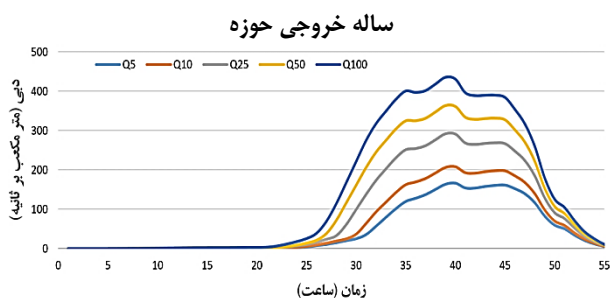
مشاهده می‌شود که مدل توانایی برآورد میزان هیدروگراف سیلاب را دارد. در شکل ۱۲، هیدروگراف سیلاب برای بارش با دوره‌های بازگشت‌های مختلف با توجه به کاربری موجود نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود با در اختیار داشتن هیدروگراف سیلاب دوره بازگشت‌های ۵ و ۲۵ سال اقدام به واسنجی و صحت سنجی مدل شده است. از آنجایی که یکی از اهداف این تحقیق بررسی تاثیر پوشش گیاهی بر میزان رواناب می‌باشد، با توجه به تغییرات که در سطح پوشش منطقه تحت تاثیر عوامل انسانی صورت گرفته است، از این رو با تغییر دادن میزان CN و به دنبال آن میزان زمان تمرکز می‌توان تغییراتی در شدت هیدروگراف جریان مشاهده نمود. در جدول ۹ میزان تغییرات در سطح پوشش گیاهی منطقه آورده شده است. همچنین در شکل ۱۳، نتایج تغییرات در هیدروگراف جریان با توجه به تغییر پوشش گیاهی، ارائه شده است.

جدول ۸- ارزیابی نتایج صحت‌سنجی هیدروگراف شبیه‌سازی با مشاهداتی دوره‌های بازگشت ۵ و ۲۵ سال

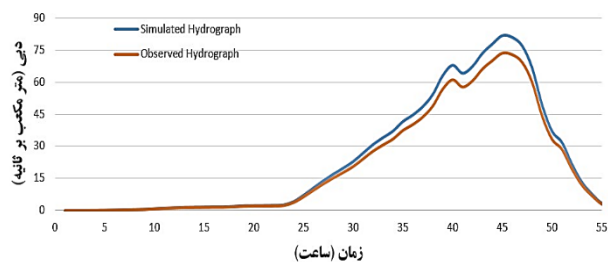
دوره بازگشت	RMSE	درصد خطا
۵	۳/۶	٪۱۱
۲۵	۱/۹۳	٪۲/۴۶



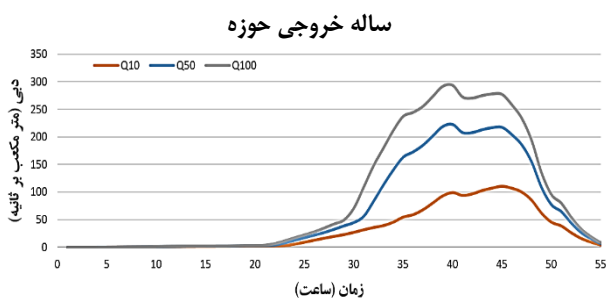
شکل ۱۱- ارزیابی دقت مدل در جهت شبیه‌سازی هیدروگراف ۲۵



شکل ۱۳- هیدروگراف شبیه‌سازی سیلاب دوره بازگشت‌های مختلف با تغییر پوشش گیاهی مطابق جدول ۹



شکل ۱۰- ارزیابی دقت مدل در جهت شبیه‌سازی هیدروگراف ۵



شکل ۱۲- هیدروگراف شبیه‌سازی سیلاب دوره بازگشت‌های مختلف برای کاربری موجود

جدول ۹- درصد تغییرات در پوشش گیاهی منطقه و محدوده تغییرات CN و زمان تمرکز

تمرکز	CN	درصد تغییرات پوشش گیاهی							زیرحوزه
		زراعی	مرتع	بایر	شهر	باغ	کشاورزی	جنگل	
۰/۳	۶۷-۶۳	+۱۰	-۵	-۱۰	+۱۰	+۵	+۱۰	-۲۰	۱
۰/۷	۸۸-۸۵	+۴	-۲	-۳	+۱	+۲	+۳	-۵	۲
۱/۸	۵۰-۴۷	+۳	-۱	-۱	+۱	+۱	+۲	-۵	۳
۰/۶	۸۴-۸۱	+۲	-۱	-۲	+۱	+۲	+۳	-۵	۴
۰/۵۲	۸۹-۸۵	+۵	-۲	-۲	+۳	+۱	+۵	-۱۰	۵
۱	۷۸-۷۳	+۴	-۳	-۲	+۵	+۲	+۱۰	-۱۵	۶
۲/۸	۴۵-۳۷	+۳	-۱	-۱	+۳	+۱	+۵	-۱۰	۷

## نتایج و بحث

### تغییرات عمق سیلاب در طول مسیر رودخانه

پس از انجام شبیه‌سازی، عمق جریان در هر سلول محاسباتی قابل استخراج می‌باشد. نتایج عمق جریان برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در شکل ۱۴ نشان داده شده است. طبق نقشه-های پهنه‌بندی سیلاب منطقه تحت دوره بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال می‌توان دریافت که، مسیر رودخانه از خروجی سد به دلیل پهن بودن شاخه رودخانه و همچنین انتقال رسوبات به پایین‌دست به دلیل شیب زیاد و همچنین عمق بیشتر جریان، خطرات کمتری در سیل‌گیری منطقه داشته است. البته شایان ذکر است که سد، نقش کنترل سیل را نیز ایفا می‌کند ولیکن احتمال شکست سد در دبی‌ها با دوره بازگشت‌های بالا نیز وجود دارد که خطرات احتمالی دیگری را به دنبال خواهد داشت. در بازه رودخانه پایین‌دست بروجرد بخش

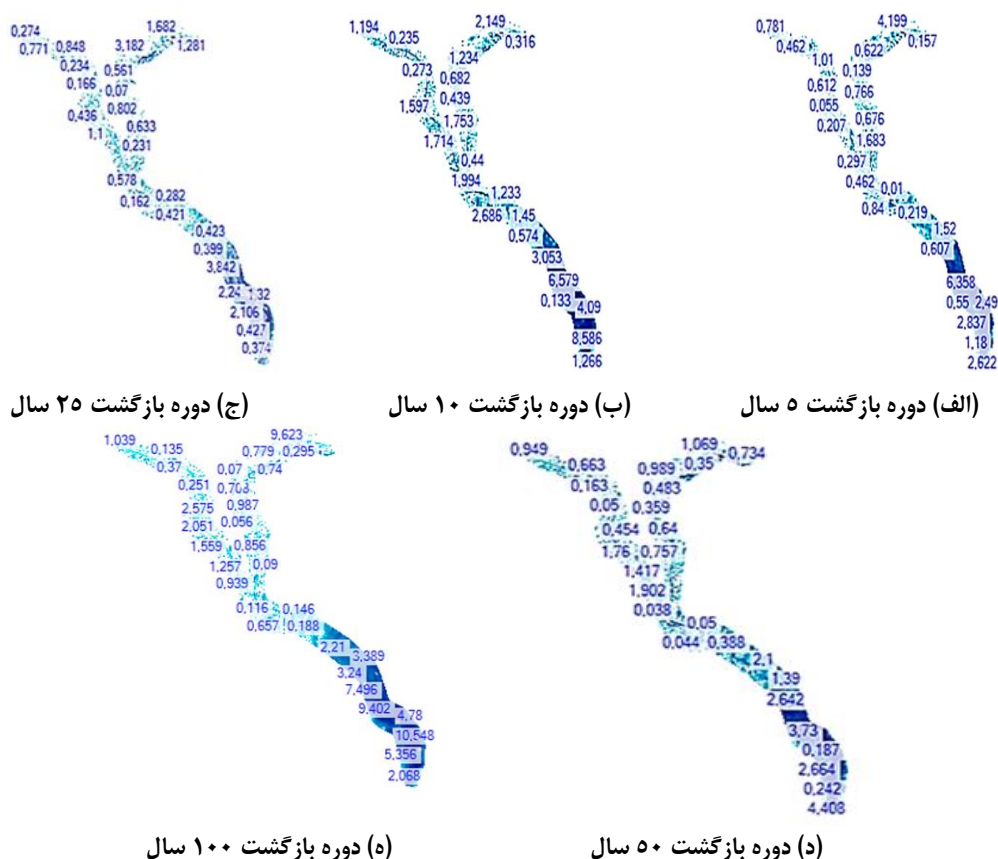
در جدول ۹، هفت گونه از تاثیرگذارترین کاربری منطقه انتخاب شد و درصد تاثیرگذاری آن در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ در شکل ۱۳، پوشش گیاهی تاثیر بسزایی در کنترل سیل داشته به نحوی که با کم شدن سطح پوشش گیاهی جنگل، افزایش زمین کشاورزی و شهری موجب ایجاد سطوح نفوذناپذیر و همچنین سهولت در جهت افزایش جریان گشته است. با در نظر گرفتن مقدار حداکثر سیلاب هیدروگراف نتایج به دست آمده برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۱۰۴، ۸۸، ۷۴، ۶۳ و ۴۸ درصد، روند افزایشی داشته است. نتیجه این افزایش رواناب تاثیر در گسترده شدن مساحت سیل‌خیز حوزه و همچنین مناطق بیشتری تحت تاثیر سیلاب قرار می‌گیرد.

رفت.

### تغییرات سرعت جریان در طول مسیر رودخانه

یکی از پارامترهای مهم در تحلیل و مدیریت سیلاب، بررسی سرعت جریان می‌باشد؛ به نحوی که هرچه قدر سرعت جریان بیشتر باشد موجب مخاطراتی برای سازه‌های در طول مسیر می‌گردد. نتایج حاصل از پلان تغییرات سرعت جریان سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف در شکل ۱۵ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۶، تقسیم‌بندی منطقه جهت بررسی تغییرات سرعت جریان در ۳ بازه مختلف نمایش داده شده است.

چالانچولان به دلیل شیب منطقه، احتمال آبرگرفتی مناطق سیلاب دشت محتمل می‌باشد. اما بازه انتهایی که تک شاخه منتهی به دورود می‌باشد، به خاطر پیچان بودن رودخانه، وجود جلگه‌ها ناشی از رسوب‌گذاری، کاهش شیب منطقه، کم‌عمق شدن رودخانه به دلیل رسوب‌گذاری و تجاوز به حریم رودخانه احتمال آبرگرفتی زیاد می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان سطح تراز رودخانه در نزدیکی دورود و بعد از آن زیاد شده و احتمال آبرگرفتی معابر در دوره‌های بازگشت مختلف از ۰/۵ متر تا بیش از ۵ متر خواهد رسید. بنابراین در دوره بازگشت ۱۰۰ سال مناطقی از شهر درگیر سیلاب قابل توجهی می‌شود و برخی از منازل مسکونی به زیر آب خواهد



شکل ۱۴- پلان عمق جریان سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف

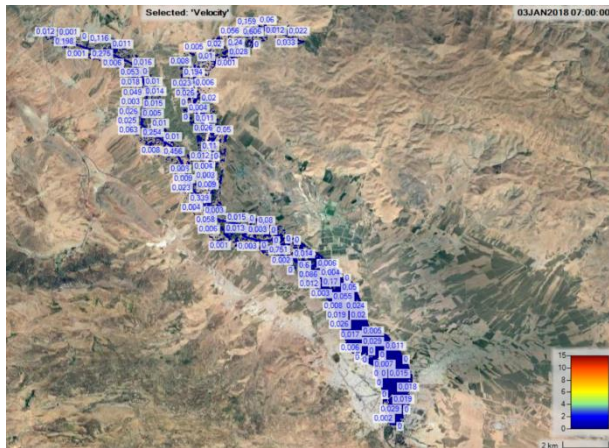
خطر سیلاب از حاصل ضرب عمق (D) در سرعت (V) استفاده شده است. بر این اساس این آیین‌نامه مقادیر مطابق آیین‌نامه سطوح خطر سیلاب در جداول ۱۰ و ۱۱ مشخص شده است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۹). نقشه‌های خطرپذیری سیلاب برای دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۱۰۰ سال در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ ارائه گردیده است. نتایج بیانگر آن است که تعداد دوازده روستا و همچنین بخش‌هایی از شهر دورود در مسیر سیلاب قرار دارند. سطح‌بندی خطر سیلاب برای بخش‌های

### تغییرات ناحیه‌بندی خطر سیلاب

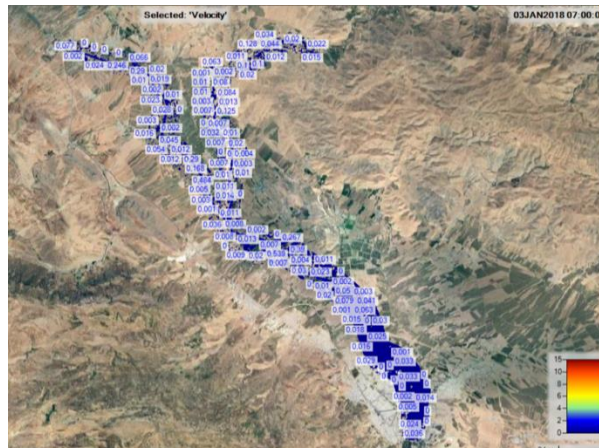
با توجه به حائز اهمیت بودن سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال و ۱۰۰ سال، در این بخش به تجزیه و تحلیل دقیق‌تر این سیلاب‌ها پرداخته شده است و همچنین اختلاف آن با سیلاب به‌دست آمده از تغییر کاربری مورد مقایسه قرار گرفته است. در ضابطه پیشنهادی ۸۲۱ (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۹) آیین‌نامه استرالیا با عنوان راهنمای تهیه نقشه‌های خطر سیلاب برای به‌دست آوردن نقشه‌های سطوح

مربوط به حد فاصل بین دو روستا یوسف‌آباد و روستای سنگر و در بخش شهری در ناحیه راست رودخانه، حدفاصل خیابان کارگر تا پارک آذرمی و در ناحیه چپ رودخانه مناطق مسکونی واقع شده در خیابان دکتر شهید مصطفی چمران بوده است.

روستایی و شهری طبق جدول ۱۲ به‌دست آمده است. همچنین، در جدول ۱۳، برای نقاط حساس شهری که پل‌های ارتباطی هستند، سطح‌بندی خطر سیلاب ارائه گردیده است. نتایج حاکی از آن است که، در بخش روستایی، افزایش سیلاب در دوره بازگشت ۱۰۰ سال



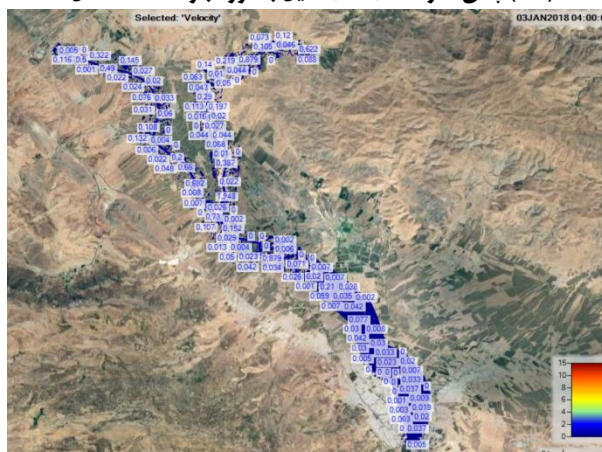
(ب) پلان سرعت (m/s) سیل با دوره بازگشت ۱۰ سال



(الف) پلان سرعت (m/s) سیل با دوره بازگشت ۵ سال



(د) پلان سرعت (m/s) سیل با دوره بازگشت ۵۰ سال

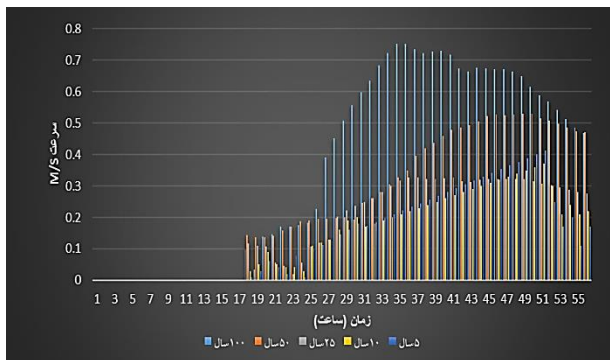


(ج) پلان سرعت (m/s) سیل با دوره بازگشت ۲۵ سال



(ه) پلان سرعت (m/s) سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

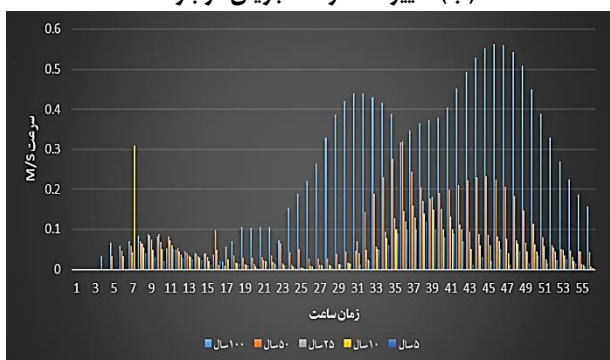
شکل ۱۵- پلان سرعت (m/s) سیل با دوره های بازگشت مختلف



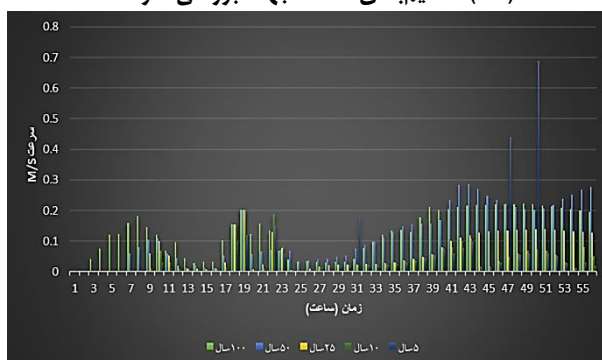
(ب) تغییرات سرعت جریان در بازه ۱



(الف) تقسیم‌بندی منطقه جهت بررسی سرعت



(ط) تغییرات سرعت جریان در بازه ۳



(ه) تغییرات سرعت جریان در بازه ۲

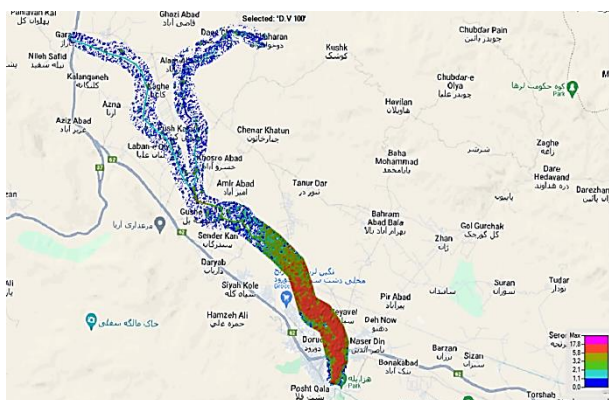
شکل ۱۶- پلان و تغییرات سرعت (m/s) سیل با دوره های بازگشت مختلف

جدول ۱۰- مقادیر مشخص شده خطر سیلاب

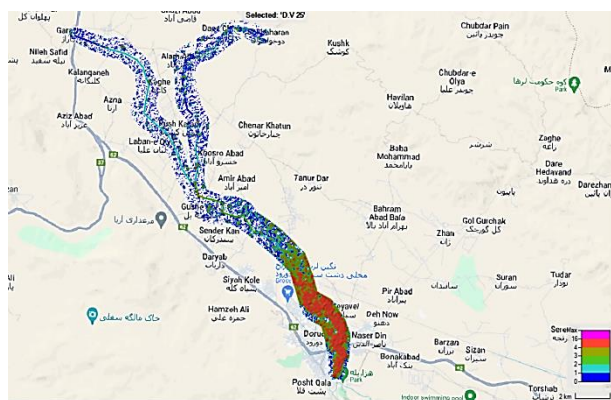
سطوح خطر سیلاب	پارامتر $V \times D$	عمق جریان (m)	سرعت جریان (m/s)
H1	$D \times V \leq 0.3$	۰/۳	۲
H2	$D \times V \leq 0.6$	۰/۵	۲
H3	$D \times V \leq 0.6$	۱/۲	۲
H4	$D \times V \leq 1$	۲	۲
H5	$D \times V \leq 4$	۴	۴
H6	$D \times V > 4$	-	-

جدول ۱۱- شرح سطوح متفاوت خطر ریسک سیلاب بر اساس استاندارد پهنه‌بندی سیلاب

توضیحات	سطوح خطر سیل
عموما برای وسایل نقلیه، مردم و ساختمان‌ها امن می‌باشد.	H1
نامن برای وسایل نقلیه کوچک	H2
نامن برای وسایل نقلیه، کودکان و سالمندان	H3
نامن برای وسایل نقلیه و همه مردم	H4
نامن برای وسایل نقلیه و همه مردم، امکان ایجاد خسارت سازه‌ای برای همه انواع ساختمان‌ها وجود دارد.	H5
نامن برای وسایل نقلیه و مردم و خطرناک برای همه نوع ساختمان	H6



شکل ۱۸- ناحیه‌بندی خطر سیلاب برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال



شکل ۱۷- ناحیه‌بندی خطر سیلاب برای دوره بازگشت ۲۵ سال

جدول ۱۲- سطوح‌بندی خطر سیلاب برای بخش‌های روستایی و شهری

بخش شهری		نقاط شهری	بخش روستایی		نام روستا
سطوح‌بندی	ساله		سطوح‌بندی	ساله	
H6	H4	بلوار صنعت	H2	H2	دوخواهران
H6	H5	خیابان کارگر	H1	H1	دائی‌چی
H6	H4	۹۰ متری پایین	H2	H2	عالم‌آباد
H6	H6	کوی همت	H2	H2	کول‌آباد
H6	H6	خیابان ارکیده	H3	H3	فرمان‌آباد
H6	H4	خیابان صفا	H2	H2	گوشه‌پل
H6	H4	خیابان منوچهری	H2	H2	زرگران سفلی
H6	H4	خیابان دکتر شهیدچمران	H1	H1	کاغه
H6	H5	سعدی	H1	H1	علی‌آباد
H6	H5	کوی فرهنگیان	H3	H2	لبان پایین
-	-	-	H5	H4	یوسف‌آباد
-	-	-	H6	H5	سنگر

جدول ۱۳- برآورد رسیدن سیلاب و ارتفاع جریان در نقاط حساس شهری برای بارش با دوره بازگشت ۲۵ سال

دوره بازگشت ۲۵ ساله				
مکان‌های مهم	عمق (m)	سرعت جریان (m/s)	زمان رسیدن سیل (hr)	سطوح خطر سیل
پل خورشیدوند	۹/۸۸	۳/۱۴	۵۴/۸۳	H6
پل راه‌آهن	۷/۷۴	۱/۳۲	۵۴/۹۸	H6
پل سعدی	۷/۴۵	۲/۴۱	۵۴/۹۹	H6
پل امام خمینی (ره)	۸/۴۴	۱/۶۷	۵۵/۰۰	H6

جدول ۱۴- برآورد رسیدن سیلاب و ارتفاع جریان در نقاط حساس شهری برای بارش با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

دوره بازگشت ۱۰۰ ساله				
مکان‌های مهم	عمق (m)	سرعت جریان (m/s)	زمان رسیدن سیل (hr)	سطوح خطر سیل
پل خورشیدوند	۱۱/۹۳	۲/۵۰	۵۲/۳۴	H6
پل راه‌آهن	۹/۷۸	۱/۹۲	۵۲/۷۱	H6
پل سعدی	۹/۴۵	۱/۵۵	۵۲/۹۹	H6
پل امام خمینی (ره)	۱۰/۳۰	۱/۱۶	۵۲/۹۹	H6

### تأثیر تغییر کاربری و عوامل انسانی در پهنه سیلاب

یکی از اهداف تحقیق حاضر، بررسی تغییر پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه بر میزان شدت سیلاب و پهنه سیل می‌باشد. از این‌رو در مرحله قبل میزان هیدروگراف تحت تأثیر تغییرات کاربری در مدل HEC-HMS برای منطقه مورد مطالعاتی استخراج شد و همچنین با توجه به مدل واسنجی شده HEC-RAS برای هریک از دوره‌های بازگشت زمانی سیلاب با قرار دادن میزان هیدروگراف پیش‌بینی شده بعنوان هیدروگراف ورودی، شبیه‌سازی انجام پذیرفت. نتایج حاصل از تغییر در کاربری اراضی و نوع پوشش در خصوصیات سیلاب، در جدول ۱۵ ارائه شده است. همانطور که از نتایج مشخص می‌باشد، تغییر در پوشش گیاهی منطقه منجر به افزایش در پهنه‌های سیلاب گردیده است که این مقدار برای دوره های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال مساحت‌های سیل‌خیزی به ترتیب معادل ۲۳۲۹، ۲۳۵۸، ۲۴۰۰، ۲۴۱۲ و ۲۵۵۶ هکتار به‌دست آمده است.

### مقایسه و تحلیل سیلاب برای چند نقطه حساس شهری

بر روی رودخانه تیره شهرستان دورود چندین پل ارتباطی مهم اعم از جاده‌ای و راه‌آهن وجود دارد. این نقاط حساس در شکل ۱۹ نشان داده شده است. با توجه به اهمیت این نواحی، در جدول ۱۶، نتایج حاصل از شبیه‌سازی از جمله عمق و سرعت جریان سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف برای مناطق مذکور ارائه شده است.

### نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر پهنه‌بندی سیلاب رودخانه تیره در استان لرستان با استفاده از مدل HEC-RAS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاضر نشان داد که می‌توان به کمک مدل HEC-RAS اثرات هیدرولیکی و تغییرات پروفیل سطح آب و سایر پارامترهای هیدرولیکی را بررسی نمود؛ همچنین این امکان فراهم می‌باشد که با تعریف نقشه کاربری اراضی، اثرات را در مدل‌سازی بررسی نمود.

جدول ۱۵- مقایسه عمق محدوده مورد مطالعه بدون تغییر کاربری اراضی با تغییر کاربری اراضی

دوره بازگشت‌های مختلف										
محل	۵ سال		۱۰ سال		۲۵ سال		۵۰ سال		۱۰۰ سال	
	عمق (m)	عمق (m)	عمق (m)	عمق (m)	عمق (m)	عمق (m)	عمق (m)	عمق (m)	عمق (m)	
	بدون تغییر	با تغییر	بدون تغییر	با تغییر	بدون تغییر	با تغییر	بدون تغییر	با تغییر	بدون تغییر	با تغییر
پل امام خمینی (ره)	۷/۶۰	۸/۱۵	۷/۹۰	۸/۵۰	۸/۴۴	۸/۸۲	۸/۹۲	۹/۰۲	۱۰/۳۰	۱۰/۴۹
پل سعدی	۶/۶۰	۷/۴۱	۶/۹۰	۸/۷۰	۷/۴۵	۹/۰۳	۷/۸۰	۹/۱۳	۹/۴۵	۱۰/۳۸
پل راه‌آهن	۶/۹۰	۷/۲۹	۷/۱۷	۷/۸۰	۷/۷۴	۸/۱۳	۷/۱۰	۸/۲۳	۹/۷۸	۸/۵۰
پل خورشیدوند	۹/۰۰	۹/۱۲	۹/۳۰	۹/۶۴	۹/۸۸	۹/۹۸	۱۰/۲۳	۱۰/۰۸	۱۱/۹۳	۱۲/۳۵



شکل ۱۹- نقاط حساس شهری برای تحلیل سیلاب

جدول ۱۶- عمق و سرعت سیل در دوره های بازگشت مختلف برای چند منطقه مهم شهری

محل	دوره بازگشت های مختلف									
	سال ۱۰۰		سال ۵۰		سال ۲۵		سال ۱۰		سال ۵	
	سرعت (m/s)	عمق (m)	سرعت (m/s)	عمق (m)	سرعت (m/s)	عمق (m)	سرعت (m/s)	عمق (m)	سرعت (m/s)	عمق (m)
پل خورشیدوند	۲/۵۰	۱۱/۹۳	۲/۶۶	۱۰/۲۳	۳/۱۴	۹/۸۸	۲/۶۲	۹/۳۰	۲/۵۱	۹/۰۰
پل راه آهن	۱/۹۲	۹/۷۸	۱/۲۶	۷/۱۰	۱/۳۲	۷/۷۴	۱/۱۳	۷/۱۷	۱/۱۹	۶/۹۰
پل سعدی	۱/۵۵	۹/۴۵	۱/۴۵	۷/۸۰	۲/۴۱	۷/۴۵	۱/۴۸	۶/۹۰	۲	۶/۶۰
پل امام خمینی (ره)	۱/۱۶	۱۰/۳۰	۱/۶۰	۸/۹۲	۱/۶۷	۸/۴۴	۱/۷۰	۷/۹۰	۱/۷۹	۷/۶۰

محاسبه گردید.

با توجه به اهمیت سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال و ۱۰۰ سال، بر طبق ضابطه پیشنهادی نشریه، نقشه های خطرپذیری سیلاب برای دوره های بازگشت ۲۵ و ۱۰۰ سال تعیین گردید. با توجه به نتایج، سیلاب محتمل نایمن برای وسایل نقلیه و مردم و همچنین خطرناک برای همه نوع ساختمان ها می باشد. به علاوه بر طبق نتایج، زمان رسیدن سیلاب دوره بازگشت ۱۰۰ نسبت به ۲۵ سال به نقاط مهم شهری، دو ساعت زودتر رخ می دهد.

### منابع

آب منطقه ای استان لرستان، ۱۳۹۲، مطالعات بازنگری مرحله اول و طرح تفصیلی ساماندهی رودخانه های شهرستان بروجرد و دورود و مطالعات بازنگری تعیین حد بستر، حریم و مرحله اول و دوم ساماندهی رودخانه تیره (طول ۹۲ کیلومتر)، دفتر مهندسی رودخانه، لرستان، ایران.

بختیاری، م.، کاشفیپور، س. م. و اصغری پری، س. ا.، ۱۳۹۱. بررسی تأثیر سازه های عرضی بر روی پهنه سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS. نشریه علوم مهندسی و آبیاری. ۳۵ (۳): ۴۶-۳۷.

دامادی، س.، دهواری، ع.، دهمرده قلعه‌نو، م. ر. و ابراهیمیان، م. ۱۳۹۹. پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی-HEC RAS در رودخانه سرباز استان سیستان و بلوچستان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۳ (۳): ۶۰۱-۵۹۰.

راد، م.، وفاخواه، م. و غلامعلی فرد، م. ۱۳۹۷. پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در پایین دست حوزه آبخیز خرم‌آباد. مجله مخاطرات محیط طبیعی. ۷ (۱۶): ۲۲۶-۲۱۱.

رضوی زاده، س.، سلاجقه، ع.، خلیقی سیگارودی، ش. و جعفری، م.

به منظور استخراج هیدروگراف جریان ورودی در هر یک از شاخه‌ها از نرم‌افزار HEC-HMS استفاده شد.

این مدل توانایی مناسب در برآورد هیدروگراف جریان و همچنین بررسی و تاثیر تغییرات کاربری اراضی در منطقه بر چگونگی رفتار هیدرولوژیکی را دارد. مشخص کردن کاربری اراضی و نقش اساسی آن بر پهنه‌های سیل گیر بسیار مورد توجه می باشد و برنامه‌ریزان همواره کوشش داشته اند که با استفاده از نقشه‌های مختلف، علاوه بر شبیه سازی، عملیات پیشگیرانه مواجهه با سیلاب را اعمال نمایند. لذا نتایج حاصل از این تحقیق می تواند دیدگاه مناسبی را در اختیار مدیران، برنامه ریزان و ذینفعان قرار دهد. شایان ذکر است که روند و رویکرد مدل سازی در تحقیق حاضر می تواند در بررسی حوزه‌های دیگر با اعمال شرایط منطقه ای آن حوزه، مورد استفاده و تعمیم قرار گیرد. در این تحقیق، با ایجاد تغییر در سطح کاربری منطقه، تغییرات در شکل هیدروگراف جریان و مقدار آن مورد بررسی قرار گرفت؛ به نحوی که با مدل سازی دوبعدی HEC-RAS، تاثیرات آن در پهنه‌گیری سیل در منطقه مشهود گردید. در نهایت از جمله مهمترین نتایج حاصل شده از تحقیق حاضر می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- پس از شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در HEC-HMS و استخراج هیدروگراف‌های رواناب و مقایسه با مقادیر مشاهداتی در دسترس دوره بازگشت ۵ و ۲۵ سال، مقادیر RMSE به ترتیب معادل ۳/۶ و ۱/۹۳ متر و همچنین درصد خطا به ترتیب ۱۱ و ۲/۴۶ درصد محاسبه گردید؛
- تغییرات مساحت‌های کاربری اراضی منجر به تغییرات پارامترهای مهمی از جمله: شماره منحنی (CN)، زمان تمرکز (Tc) و همچنین ضریب زبری (n) گردید، که برای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب ۱۰۴، ۸۸، ۷۴، ۶۳ و ۴۸ درصد نرخ افزایشی بر روند دبی اوج داشته است.
- مساحت سیل‌خیزی حوزه برای دوره های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال برای حوزه مورد مطالعه به ترتیب ۲۲۳۳، ۲۲۴۶، ۲۳۳۱، ۲۳۶۵ و ۲۵۲۴ هکتار بوده است، که با تغییر کاربری اراضی معادل ۲۳۲۹، ۲۳۵۸، ۲۴۰۰، ۲۴۱۲ و ۲۵۵۶ هکتار

- analysis system: User's manual version 6.0
- Bentley Systems, Dyhouse, G., Hatchett, J. and Jeremy, B. 2007. Floodplain modeling using hec-ras. Bentley Institute Press; First Edition.
- Chow Ven, T., Te, C.V., RC, M.D. and Mays, L.W., 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill Book Company.
- Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., Macchione, F. and Petaccia, G. 2020. Performances of the new HEC-RAS version 5 for 2-D hydrodynamic-based rainfall-runoff simulations at basin scale: Comparison with a state-of-the art model. *Water*. 12(9): 2326.
- Darijani, Z., Ghaeini-Hessaroeeyeh, M. and Fadaei-Kermani, E., 2025. Flood inundation and hazard mapping using the HEC-RAS 2D model: a case study of Adoori River, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*. 11(1):1-14.
- Desalegn, H. and Mulu, A., 2021. Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 12.e00834.
- Jagadeesh, B. and Krishna Veni, K. 2021. Flood plain modelling of Krishna lower basin using arcgis, hec-georas and hec-ras. *Materials science and engineering*, 1112 (1): 012024.
- Mokhtar, E.S., Pradhan, B., Ghazali, A.H. and Shafri, H.Z.M., 2018. Assessing flood inundation mapping through estimated discharge using GIS and HEC-RAS model. *Arabian Journal of Geosciences*. 11: 1-20.
- Shaikh, A. A., Pathan, A. I., Waikhom, S. I., Agnihotri, P. G., Islam, M. N. and Singh, S. K. 2023. Application of latest HEC-RAS version 6 for 2D hydrodynamic modeling through GIS framework: A case study from coastal urban floodplain in India. *Modeling Earth Systems and Environment*. 9(1): 1369-1385.
- Tamiru, H. and Wagari, M. 2022. Machine learning and HEC-RAS integrated models for flood inundation mapping in Baro River Basin, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*. 8 (2): 2291-2303.
۱۳۸۹. بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر خصوصیات سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان). نشریه مرتع و آبخیزداری. ۶۶ (۳): ۳۸۶ - ۳۷۳.
- ۱-سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۹، راهنمای تهیه نقشه های خطرپذیری سیل وزارت نیرو امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران دفتر استانداردها و طرحهای آب و آبفا؛ ضابطه ۸۲۱ بخشنامه ۱۶۸۲۹۸/۹۹
- شکیب، ح. و شجاع رستگاری، ح. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات بستر و نقاط مناسب برداشت رسوب به کمک تکنیک GIS و نرم افزار-HEC RAS (مطالعه موردی: بستر گرگانرود-زیرحوزه چهل چای استان گلستان، ایران)، پانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین.
- عابدی کویایی، ج. و بابایی، ب. ۱۳۹۸. تعیین حریم رودخانه زاینده رود با استفاده از نرم افزارهای GIS Arc، HEC-RAS و برنامه جانبی HEC-GEORAS. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۳ (۴): ۳۶۱-۳۷۶.
- عزیزیان، ا. و صمدی، ا. ۱۴۰۰. شبیه سازی دوبعدی سیلاب در محیط مدل عددی HEC-RAS 5. چاپ اول، انتشارات پارسیا.
- کریمی فیروزجایی، م.، عبداللهی کاکرودی، ع. و جلوخانی نیارکی، م. ر. ۱۳۹۶. تهیه نقشه خطر مبتنی بر انرژی جریان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: رودخانه نکاء. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی. ۵ (۴): ۱۷۵-۱۵۹.
- مرادی نژاد، ا. و حسینی، ا. ۱۴۰۱. برآورد دقت روابط انتقال دبی رسوب رودخانه خنداب، ایستگاه جوشیروان با استفاده از مدل-HEC RAS. مجله محیط زیست و مهندسی آب، ۸ (۱): ۱۷۶-۱۶۱.
- Ackerman, C.T., 2009. HEC-GeoRAS-GIS tools for support of HEC-RAS using ArcGIS, User's manual. US Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center (HEC). 4.
- Brunner, G.W., 2021. CEIWR-HEC HEC-RAS river

## Risk Assessment and Flood Mapping of the Tire River Using the HEC-RAS Model

M. Ghaedrahmati<sup>1</sup>, M. Ghaeini-Hessaroyeh<sup>2</sup>, E. Fadaei-Kermani<sup>3\*</sup>

Received: May.03, 2025

Accepted: Jun.16, 2025

### Abstract

The Tire River of Dorud city is located in the northeast of Lorestan province, which for many years has caused floods in the Silakhor plain and parts of agriculture and parts of residential areas and communication bridges of Dorud city. Therefore, in this research, using land and soil use maps and matching them with each other in the ArcGIS environment, the initial estimation of the runoff curve number (CN) has been done. Then, with SCS relationships, time of concentration (TC) was determined and calculated with the help of EsayFit software and hourly rainfall event data of two available stations for return periods of 5, 10, 25, 50 and 100. Next, by entering the DEM of the relevant area into the HEC-HMS software, important hydrological parameters were extracted, and using the HEC-HMS software environment, precipitation-runoff hydrographs were determined for the boundary conditions of preparing zoning maps. Also, the response of the impact of land use changes and changes in parameters such as runoff curve number (CN) and concentration time (Tc) in HEC-HMS software has increased the peak discharge, which values are obtained for the return period of 5, 10, 25, 50, 100 years has increased by 104, 88, 74, 63, 48 percent respectively. Due to the unsustainable conditions of the river flow, by simulating rainfall with different return periods, flood zoning maps were prepared and flood prone areas were determined. The simulation results of HEC-RAS software showed that, according to the proposed criteria of the 821 code, flood risk levels for the return period of 25 years and 100 years, unsafe for vehicles and all people, it is possible to cause structural damage and dangerous for all types of buildings. Also, the area Flood risk in the study area for the return period of 5, 10, 25, 50, 100 respectively has been obtained 2246, 2273, 2331, 2365, 2524 hectares. The arrival time of the flood of the 100-year return period has occurred two hours earlier than 25 years.

**Key words:** Flood mapping, Flood simulation, HEC-HMS Software, HEC-RAS software Tire River

1- M.Sc. Graduate, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2- Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(\*- Corresponding Author, Email: e.fadaei@uk.ac.ir)