

پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل دوبعدی HEC-RAS (مطالعه موردی: حوضه کارده)

زهرا شریفی نیک^۱، محمود فغفور مغربی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

zshn139@gmail.com

خلاصه

پهنه‌بندی سیلاب گرفتگی نقش مهمی در انتقال اطلاعات مربوط به خطر سیل به تصمیم‌گیرندگان و عموم مردم برای اهداف برنامه‌ریزی و عملیات امدادرسانی دارد. سیل‌های بزرگ اخیر در بسیاری از نقاط جهان نشان می‌دهند که سیل‌ها شدیدتر و مکرر می‌شوند. در نتیجه، علاقه به بهبود قابلیت‌های پیش‌بینی سیل از جمله نقشه‌های سیلاب گرفتگی برای جلوگیری از تلفات انسانی و اقتصادی در ارتباط با رویدادهای بزرگ سیل، رو به رشد است. مقاله حاضر با هدف معرفی کاربرد و توانایی‌های مدل هیدرولیکی HEC-RAS2D به ارائه نقشه‌های سیلاب گرفتگی با دوره بازگشت‌های مختلف در بخشی از رودخانه کارده در نزدیکی شهر مشهد به طول ۸ کیلومتر می‌پردازد که می‌تواند در تعیین حد بستر و پهنه سیل پرخطر رودخانه کارده مورد استفاده قرار گیرد. به منظور پیش‌بینی پهنه سیلاب پس از آنالیز حساسیت ابعاد سلولی ناحیه دوبعدی در میزان سیل شبیه‌سازی شده، مساحت پهنه سیل و اطلاعاتی مانند حداکثر و حداقل سرعت و عمق در دوره بازگشت‌های مختلف در قالب جدولی تهیه شد.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، HEC-RAS 2D، مدل هیدرولیکی دوبعدی، ابعاد شبکه محاسباتی، کارده

۱. مقدمه

سیلاب یکی از بزرگ‌ترین بلاهای طبیعی است که بر بسیاری از نقاط جهان از جمله کشورهای توسعه‌یافته تأثیر می‌گذارد. علاوه بر از دست دادن میلیاردها دلار در زمینه‌ی زیرساخت‌ها و خسارت اموال به دلیل سیل، هر ساله صدها و گاهی هزاران نفر از انسان‌ها از بین می‌روند. یکی از راه‌حل‌های جلوگیری و کاهش تلفات، تأمین اطلاعات قابل اطمینان برای عموم مردم در مورد خطر سیل از طریق نقشه‌های سیلاب گرفتگی است. علاوه بر شناسایی نواحی سیل‌خیز در آینده، نقشه‌های سیلاب گرفتگی همچنین در عملیات نجات و تسهیلات مربوط به سیلاب مفید هستند [1]. در حقیقت پیش‌بینی سیلاب‌دشت‌های آسیب‌پذیر و مناطق مستعد سیل می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در برنامه‌ریزی راهبردهای مدیریت برای کاهش سیل از قبیل طراحی سازه‌های کنترل آب، تصمیم‌گیری برای بیمه سیل و تسهیل آمادگی اضطراری برای مقابله با سیل کمک کند [2].

مدل‌سازی هیدرودینامیکی رودخانه و سیلاب‌دشت‌های آن نیاز به استفاده از روش‌های عددی برای حل معادلات پیوستگی جریان سطح آزاد تحت شرایط پیچیده معمولی دارد. از آنجایی که مدل‌های عددی نمایش ساده‌ای از واقعیت هستند، یک ویژگی کلیدی از مدل‌سازی هیدرودینامیکی نمایش مناسب از توپوگرافی کانال رودخانه و سیلاب‌دشت‌های مجاور آن است [3]. چندین ابزار عددی وجود دارد که اجازه می‌دهد رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها با رویکردهای یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی مدل شوند. علیرغم تفاوت‌ها در توانایی و دقت مدل، برای مطالعه تأثیر انتشار سیلاب بر روی رودخانه‌ها و به ویژه تخمین سرعت جریان و سطح آب، از مدل‌های یک‌بعدی بیشتر اوقات استفاده می‌شود [4]. در مدل‌سازی یک‌بعدی رایج است که رودخانه به عنوان یک خط و هندسه کانال به عنوان یک مشخصه از هر گره در مسیر رودخانه در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر، در مدل‌های دوبعدی، رودخانه دیگر به عنوان یک خط با چندین مقطع عرضی در نظر گرفته نمی‌شود بلکه به عنوان مشی متشکل از یک سری سلول‌های چندضلعی که توپوگرافی کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها را نشان می‌دهد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سیستم‌های پیچیده‌تر رودخانه احتمال دارد که مدل یک‌بعدی خیلی از واقعیت فاصله داشته باشد، درحالی‌که مدل دوبعدی

می‌تواند به توصیف واقع‌بینانه‌تری از مورد منجر شود. تکامل روش‌های عددی و توسعه ابزارهای محاسباتی قدرتمند که کاربرد روش‌های پیچیده‌تری را تسهیل می‌کند، منجر به استفاده بیشتر از مدل‌های هیدرولیکی دوبعدی شده است [5].

مطالعات متعددی عملکرد مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی را برای شبیه‌سازی سیلاب رودخانه مقایسه کرده‌اند. از جمله این مطالعات هوریت و بیتس (۲۰۰۲)، به ارزیابی مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی برای پیش‌بینی سیلاب گرفتگی در بازه ۶۰ کیلومتر از رودخانه سورن در انگلستان پرداختند. مطالعه انجام شده آن‌ها با استفاده از سه مدل HEC-RAS، LISFLOOD-FP و TELEMAC 2D نشان داد مدل HEC-RAS بهترین مدل برای این بازه از رودخانه از بین سه مدل است. البته ذکر شده است که در استفاده از نتایج به دست آمده با احتیاط باید بحث شود و کاربرد مدل‌ها در بازه‌های دیگر ممکن است رفتارهای مختلفی را از خود نشان دهد [6]. در تحقیقی دیگر پاپایانو و همکاران به آنالیز حساسیت رویکردهای مختلف مدل‌سازی هیدرولیکی-هیدرودینامیکی و انواع مختلفی از وضوح مکانی^۱ ناحیه ساحلی و رودخانه برای تولید نقشه‌های سیلاب گرفتگی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد در مناطق پیچیده رودخانه و سواحل، داده‌های ورودی با دقت وضوح مکانی بهتر برای مدل‌سازی موفق و تهیه نقشه‌های سیلاب مورد نیاز است. همچنین نتایج رویکردهای مدل‌سازی یک‌بعدی و دوبعدی نشان داد که بایستی از مدل‌های پیشرفته‌تر (رویکرد مدل‌سازی دوبعدی) استفاده شود [4].

پینوس و تیمب به تحلیل مقایسه‌ای از عملکرد چهار مدل هیدرولیکی دوبعدی (FloodModeller2D، Iber2D، HEC-RAS2D) و PSCWMM بر اساس ارتفاع سطح آب و میزان سیل پرداختند و نقشه‌های سیلاب گرفتگی را ارائه نمودند [5]. در مطالعه‌ای دیگر افشاری و همکاران به منظور ارزیابی دقت نسبی بین دو ابزار جدید با پیچیدگی کم (AuotoRoute و HAND) با مدل دوبعدی HEC-RAS در رویدادهای سیل با بزرگی مختلف، عمق و میزان آب گرفتگی شبیه‌سازی شده از سه مدل ذکر شده را با یکدیگر مقایسه نمودند [7]. همچنین با هدف تحلیل رویداد سیل سال ۲۰۱۴ در دشت‌های Moxos با استفاده از قابلیت‌های دوبعدی نسخه جدید HEC-RAS، کیروگا و همکاران به شبیه‌سازی میزان سیل پرداختند و اطلاعاتی مانند عمق آب، سرعت جریان، تغییر زمانی سیل و مناطق در معرض خطر سیل را ارائه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد دبی سیل شبیه‌سازی شده در مقایسه با دبی سیل مشاهده شده توسط تصویر ماهواره‌ای عملکرد خوبی را نشان می‌دهد [8].

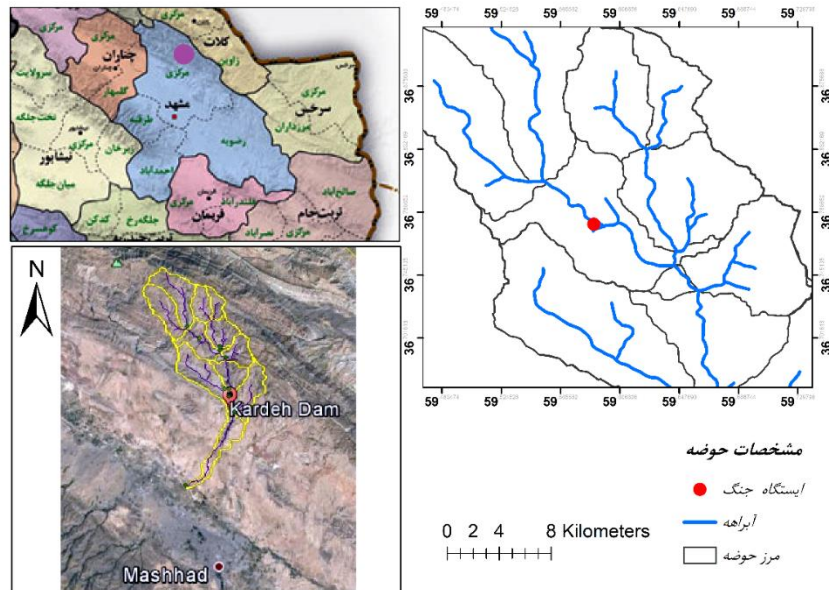
مطالعه حاضر به بررسی عددی مشخصات و پهنه‌بندی سیلاب با در نظر گرفتن هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از قابلیت‌های جدید دوبعدی نرم افزار HEC-RAS 5.0.7 در رودخانه کارده انجام شده است. خروجی این محاسبات می‌تواند به مدیران برای تعیین حد بستر و حریم رودخانه کمک کند.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

حوضه سد کارده با مساحتی حدود ۶۸۰/۵ کیلومتر مربع در شمال شرق ایران و شمال شهرستان مشهد قرار گرفته است. این منطقه در دامنه جنوبی رشته کوه‌های هزارمسجد و زون کپه‌داغ و در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۱° ۲۶' ۵۹" تا ۴۸° ۴۳' ۵۹" طول شرقی و ۱۷° ۳۷' ۳۶" تا ۲۷° ۵۸' ۳۶" عرض شمالی واقع شده است و بخشی از حوضه آبخیز کشف رود مشهد نیز محسوب می‌شود. فاصله پایین‌ترین قسمت حوضه تا شهر مشهد ۴۲ کیلومتر است. مهم‌ترین رودخانه حوضه رودخانه کارده است که جهت جریان آب از شمال به جنوب بوده و از به هم پیوستن دو شاخه کوشک آباد و آل به وجود آمده است. محدوده مورد مطالعه ما بخشی از رودخانه کارده بعد از خروجی حوضه کارده-کریم آباد به طول حدود ۸ کیلومتر در جهت پایین دست ایستگاه مشاهداتی جنگ است.

^۱ Spatial resolution



شکل ۱- موقعیت و مکان جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه

۲-۲- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر مسئله را معادلات پیوستگی جریان و دینامیکی در جریان‌های متغیر غیردائمی تشکیل می‌دهند که تحت عنوان معادلات سنت‌ونانت مشهور هستند. با فرض تراکم ناپذیری جریان، فرم دیفرانسیلی معادلات دوبعدی برای جریان غیردائمی به صورت زیر است:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (1)$$

معادله مونتوم:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + fv \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + fu \end{cases} \quad (2)$$

که در آن H ارتفاع سطح آب از سطح مبنا، t زمان، u و v به ترتیب مولفه‌های سرعت در جهت‌های x و y ، q دبی جانبی، g شتاب گرانش، h عمق آب، c_f ضریب اصطکاک بستر، f ضریب کریولیس، v_t ضریب ویسکوزیته هستند.

۲-۳- معرفی مدل HEC-RAS 2D

سیستم تحلیل رودخانه مرکز مهندسی هیدرولوژی (HEC-RAS) یک مدل هیدرولیکی جریان ماندگار و غیرماندگار است که توسط گروه مهندسی ارتش آمریکا^۱ برای کمک به مهندسان هیدرولیک در تجزیه و تحلیل جریان کانال و مدل‌سازی دشت سیلابی طراحی شده است. نتایج حاصل از مدل می‌تواند در

^۱ US Army Corps Of Engineers (USACE)

مدیریت سیلاب و مطالعات بیمه سیل استفاده شود. این مدل هیدرولیکی به دلیل کاربرد وسیع آن برای تجزیه و تحلیل سیلاب دشت‌ها و دسترسی آزاد در اینترنت در تحقیقات زیادی به کار می‌رود [9].

در تحقیق حاضر از مدل دوبعدی HEC-RAS 5.0.7 استفاده شده است. نسخه جدید HEC-RAS معادلات سنت و نانت دوبعدی را در دو حالت موج دینامیک^۱ و موج دیفیوژن^۲ حل می‌کند. به‌طور کلی در حالت موج دیفیوژن سرعت اجرای مدل بالاتر و پایداری به مراتب بیشتری دارد. اگرچه قطعاً در موقعیت‌های واضحی مانند شکست سد یا آنالیز خطر سیل، انبساط و انقباض‌های ناگهانی در مسیر جریان، مدل‌سازی انتشار موج در اثر باز و بسته شدن سریع دریچه‌ها، محاسبه توزیع سرعت دقیق و ارتفاع سطح آب در نزدیکی سازه هیدولیکی و رژیم جریان مختلط به منظور انتقال درست جریان از حالت زیربحرانی به فوق‌بحرانی و فوق‌بحرانی به زیربحرانی (پرش هیدرولیکی)، بایستی برای دقت بیشتر از معادلات موج دینامیک استفاده کرد [10]. در مدل‌سازی هر دو روش معادلات در پهنه سیلاب در نظر گرفته شد و به دلیل اختلاف در پهنه سیلاب مشاهده شده و سرعت بالای سیستم محاسباتی مورد استفاده پهنه سیلاب در حالت معادلات موج دینامیک که پاسخ دقیق‌تری می‌دهد گزارش شده است.

۲-۴- مدل هندسی منطقه مورد مطالعه

یکی از مهم‌ترین داده‌های مورد نیاز که می‌تواند منجر به عدم اطمینان در نقشه‌های سیلاب‌گرفتنی شود نقشه توپوگرافی است [11]. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به کمک نرم‌افزار Civil3D ساخته شد. لازم به ذکر است برای ساخت مدل هندسی سطح زمین (TIN) نهایی در پنجره Ras Mapper از ترکیب DEM به دست آمده از نقشه توپوگرافی و DEM با توان تفکیک ۱۲/۵ متری تهیه شده از سایت Vertex استفاده شده است.

۲-۵- شبکه محاسباتی دوبعدی

داده‌های توپوگرافی با توان تفکیک بالا را می‌توان از طریق تکنیک‌های سنجش از دور تولید کرد. باین حال، مدل‌های عددی تنها می‌توانند نتایج سریع و دقیقی را با توجه به تعداد مشخصی از سلول‌های محاسباتی ارائه دهند. بنابراین، فقط داده‌هایی با توان تفکیک بالا می‌توانند به عنوان مش نسبتاً درشت که در آن بسیاری از داده‌ها چشم‌پوشی می‌شوند، استفاده شوند. برای حل این مشکل HEC-RAS از رویکرد تغییرات درون سلولی^۳ استفاده می‌کند. در طی یک فرآیند پیش‌پردازش^۴ سلول‌های شبکه محاسباتی شامل اطلاعات اضافی در مورد هندسه زمین در قالب جدول مشخصات هیدرولیکی و هندسی می‌شوند. جزئیات مربوط به شعاع هیدرولیکی، حجم و سطح مقطع از مدل رقومی سطح زمین محاسبه می‌شود. بنابراین سلول‌های محاسباتی نایستی دارای بستری صاف و بدون شیب باشند. مفهوم تغییرات درون سلولی اجازه می‌دهد تا مدل از یک شبکه محاسباتی نسبتاً درشت با توجه به توان تفکیک بالا مدل رقومی سطح زمین برخوردار باشد.

در این پژوهش از ابعاد سلولی ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ متری برای ساخت شبکه محاسباتی استفاده شد و آنالیز حساسیت اندازه مش در پهنه سیلاب خروجی مورد بررسی قرار گرفت که در بخش نتایج به آن پرداخته می‌شود.

۲-۶- نقشه کاربری اراضی

با توجه به اینکه ضریب‌زبری مانینگ در بازه‌های مختلف رودخانه برای رودخانه و سیلاب‌دشت چپ و راست متغیر است نقشه کاربری اراضی در محیط GIS برای ۱۲ ناحیه با ضریب‌زبری متفاوت ساخته شد و به صورت Shapefile در پنجره Ras Mapper فراخوانی شد. لازم به ذکر است برای در نظر گرفتن عوامل موثر در تخمین ضریب‌زبری مانینگ مانند زبری بستر کانال، نامنظمی سطح مقطع، پوشش گیاهی، شکل مسیر و وجود مانع در مسیر جریان از روش کاون برای تعیین ضریب‌زبری کانال و سیلاب‌دشت چپ و راست استفاده شده است. علاوه بر آن از جداول تجربی ارائه شده توسط چاو برای تعیین ضریب‌زبری مانینگ^۳ ناحیه بهره گرفته شده است.

^۱ Full momentum

^۲ Diffusion

^۳ Subgrid-Variability

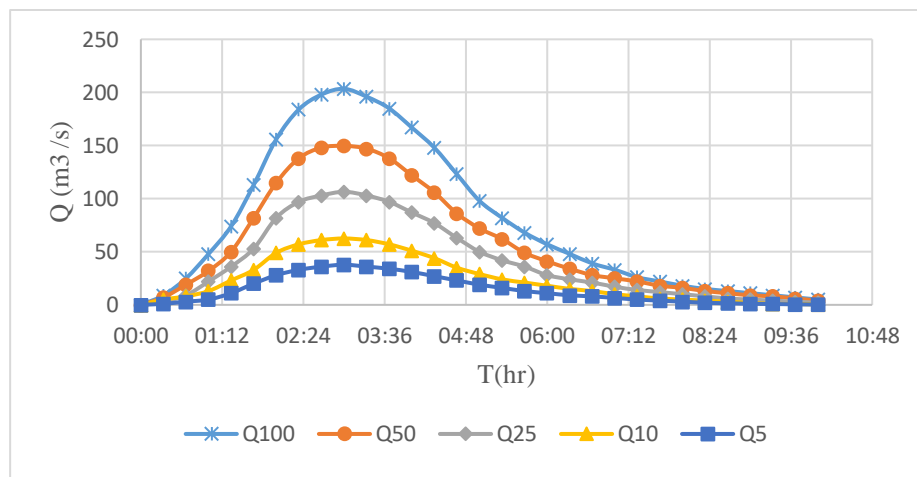
^۴ Pre-Processing

۲-۷- هیدروگراف سیلاب ورودی جریان

برای تعیین مقادیر دبی جریان به ازای دوره بازگشت‌های مختلف از نتایج گزارش هیدرولوژی سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی استفاده شده است. در جدول (۱) مقادیر دبی اوج هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شده است [12]. برای مدل‌سازی جریان به صورت غیردائمی در محدوده مورد نظر، هیدروگراف سیلاب خروجی حوضه کارده- کریم‌آباد در دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به عنوان شرط مرزی بالادست و عمق نرمال به عنوان شرط مرزی در پایین دست به مدل داده شده است.

جدول ۱- دبی اوج هیدروگراف سیلاب حوضه کارده- کریم‌آباد با دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت (سال)	100	50	25	10	5
دبی اوج هیدروگراف سیلاب (m^3/s)	203.4	149.7	106.4	62.5	37.8

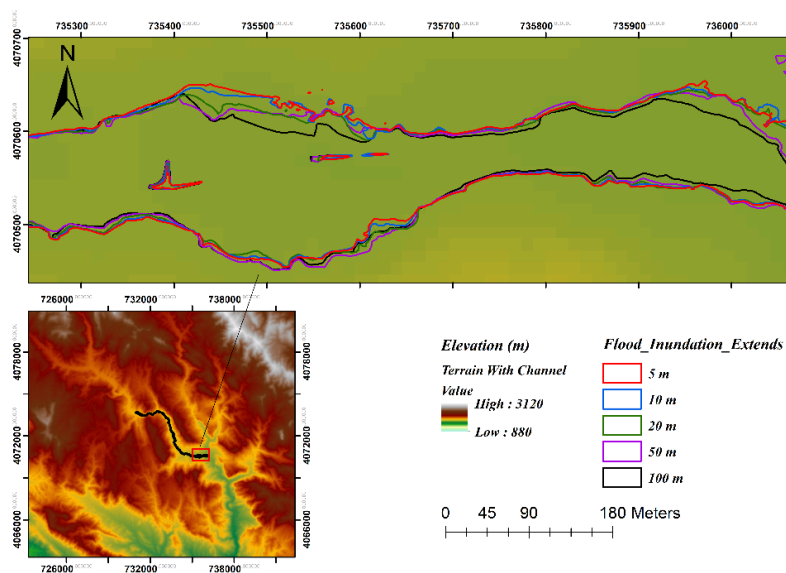


شکل ۲- هیدروگراف سیلاب‌های حوضه کارده- کریم‌آباد با دوره بازگشت‌های مختلف

۳. نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل حساسیت ابعاد مش بر وسعت پهنه‌بندی سیل

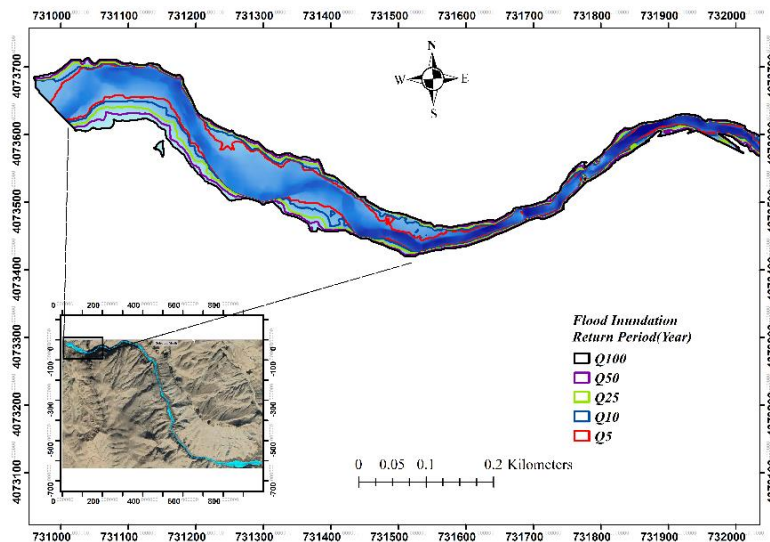
در این تحقیق پس از تحلیل حساسیت اندازه مش برای اجرای نرم‌افزار مشاهده شد که به‌ازای تغییر اندازه مش ۱۰ متر و پایین‌تر از آن تغییر محسوسی در نتایج حاصل نمی‌شود و سبب نتایج تقریباً یکسانی بین مقادیر سرعت و عمق برای مش‌هایی با این اندازه می‌شود ولی با افزایش ابعاد سلولی جواب‌ها تغییر پیدا می‌کردند. در نتیجه در مدل‌سازی برای کاهش حجم محاسبات و مدت زمان اجرای نرم‌افزار از مش با اندازه ۱۰ متر و برای محدوده کانال به علت حساسیت بالای محاسباتی اندازه مش ۲ متر در نظر گرفته شد. در شکل ۳ پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده در ابعاد سلولی مختلف نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، افزایش ابعاد سلول محاسباتی در بیشتر مواقع منجر به شبیه‌سازی کمتر پهنه سیلاب می‌شود. اگرچه در بسیاری از بازه‌ها پهنه سیلاب به‌دست آمده از ابعاد سلولی مختلف یکسان است.



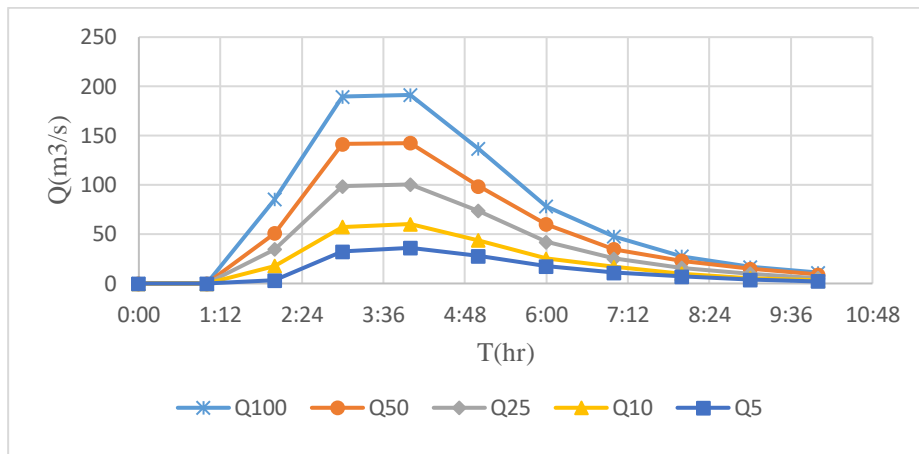
شکل ۳- تأثیر ابعاد سلول محاسباتی مختلف بر پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده

۳-۲- نتایج مربوط به مشخصات و پهنه سیلاب

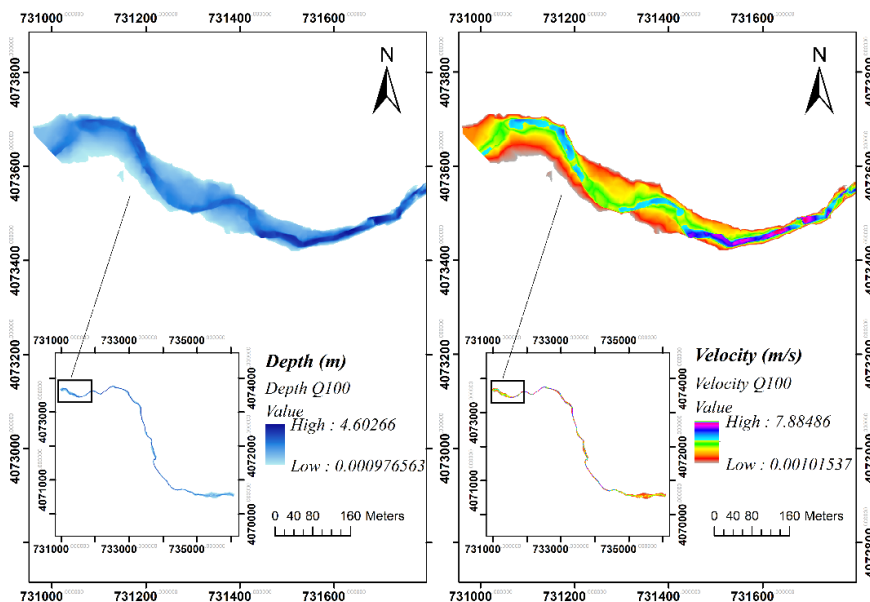
پس از وارد کردن مشخصات هندسی کانال، مدل HEC-RAS اجرا و پهنه سیلاب به ازای دبی با دوره بازگشت‌های مختلف مطابق شکل ۴ از شبیه‌ساز HEC-RAS به نرم‌افزار ArcGIS انتقال داده شد. هیدروگراف‌های سیلاب خروجی محاسبه شده از پایین دست ناحیه دویعدی برای دوره بازگشت‌های مختلف در شکل ۵ ارائه شده است. در شکل ۶ نقشه عمق و سرعت جریان در دوره بازگشت ۱۰۰ سال نمایش داده شده است که با توجه به شکل ماکزیمم مقدار سرعت و عمق در کانال به ترتیب ۷/۸ متر برثانیه و ۴/۶۰ متر است. مقایسه نتایج پهنه سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف (جدول ۲) نشان می‌دهد که به‌طور طبیعی مساحت پهنه سیل، مقادیر عمق و سرعت جریان با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد بطوریکه مساحت پهنه سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حدود ۲ برابر مساحت پهنه سیل با دوره بازگشت ۵ ساله است.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی سیل به ازای دبی با دوره بازگشت‌های مختلف



شکل ۵- هیدروگراف سیلاب خروجی برای دوره بازگشت‌های مختلف



شکل ۶- نقشه حداکثر عمق آب و سرعت جریان به ازای دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

جدول ۲- مقادیر سرعت، عمق و مساحت پیش‌بینی شده سیل در دوره بازگشت‌های مختلف

دوره بازگشت (year)						سرعت (m/s)
100	50	25	10	5		
7.885	7.391	6.955	6.139	5.853	max	
2.434	2.268	2.104	1.833	1.681	mean	
0.001	0.004	0.007	0.007	0.005	min	
مساحت پهنا سیل (m^2)						
344858.2	306701.79	267959.82	218245.454	183959.064	max	
4.603	4.053	3.487	2.734	2.135	Mean	
عمق (m)						
1.36	1.212	1.074	0.897	0.747	Min	
0.001	0.001	0.001	0.001	0.001		

۴. نتیجه گیری

در این تحقیق، شبیه سازی دوبعدی سیلاب در بخشی از رودخانه کارده مشهد در دوره بازگشت های مختلف به منظور تعیین حد بستر و پهنه سیل پرخطر با استفاده از نرم افزار HEC-RAS 5.0.7 و Arc GIS انجام شد. علاوه بر آن ضمن معرفی مدل دوبعدی HEC-RAS و مفهوم تغییرات درون سلولی، تحلیل حساسیت ابعاد مش بر وسعت پهنه بندی سیل صورت گرفت. نتایج مطالعه نحوه گسترش پهنه سیلابی در رودخانه کارده را به خوبی نشان می دهد و از آن می توان در تعیین حد بستر و پهنه سیل پرخطر جهت برنامه ریزی مدیریت سیلاب بهره گرفت.

۵. مراجع

1. Cook, A., & Merwade, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 131–142.
2. Sarhadi, A., Soltani, S., & Modarres, R. (2012). Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 458, 68–86.
3. Casas, A., Benito, G., Thorndycraft, V. R., & Rico, M. (2006). The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 31(4), 444–456.
4. Papaioannou, G., Loukas, A., Vasiliades, L., & Aronica, G. T. (2016). Flood inundation mapping sensitivity to riverine spatial resolution and modelling approach. *Natural Hazards*, 83(1), 117–132.
5. Pinos, J., & Timbe, L. (2019). Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins. *Water Science and Engineering*, 12(1), 11–18.
6. Horritt, M. S., & Bates, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 268(1–4), 87–99.
7. Afshari, S., Tavakoly, A. A., Rajib, M. A., Zheng, X., Follum, M. L., Omranian, E., & Fekete, B. M. (2018). Comparison of new generation low-complexity flood inundation mapping tools with a hydrodynamic model. *Journal of Hydrology*, 556, 539–556.
8. Quirogaa, V. M., Kurea, S., Udoa, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *Ribagua*, 3(1), 25–33.
9. Logah, F. Y., Amisigo, A. B., Obuobie, E., & Kankam-Yeboah, K. (2017). Floodplain hydrodynamic modelling of the Lower Volta River in Ghana. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 14, 1–9.
10. U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2016). *HEC-RAS River Analysis System 2D Modeling User ' s Manual*. Hydrologic Engineering Center.
11. Merwade, V., Olivera, F., Arabi, M., & Edleman, S. (2008). Uncertainty in flood inundation mapping: current issues and future directions. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(7), 608–620.
12. شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی، (۱۳۹۶). بازنگری و تکمیل مطالعات تعیین حد بستر و حریم رودخانه کارده، گزارش مطالعات هیدرولوژی