نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال نهم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۹

ISSN 2251-7480

تاثیر مفهوم تغییرات درون سلولی، ابعاد شبکه محاسباتی و مقیاس نقشه توپوگرافی بر عملکرد مدل دوبعدی HEC-RAS در شبیه‌سازی پهنه‌های سیلگیر رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه سرباز)

امیر صمدی[1*]، اصغر عزیزیان[2]

۱و۲) استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: samadi@eng.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۸

چکیده

در حال حاضر بسیاری از مدل‌های هیدرولیکی موجود که عمده آنها در رده مدل‌های متوسط‌گیری‌شده در عمق (Depth-Averaged) قرار می‌گیرند، از شبکه‌های محاسباتی منظم برای گسسته‌سازی میدان حل استفاده می‌نمایند و همین مساله موجب کاهش کارائی آنها به ویژه در ابعاد سلولی بزرگتر می‌گردد. بر خلاف مدل‌های مذکور، مدل دوبعدی HEC-RAS از مفهوم جدیدی به نام تغییرات درون سلولی برای لحاظ نمودن تغییرات ارتفاعی داخل یک سلول محاسباتی استفاده می‌نماید و از اینرو از وابستگی بسیار کمی به ابعاد سلول محاسباتی برخوردار می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر کاربرد این مفهوم بر پهنه سیلاب رودخانه سرباز به انجام رسیده است. همچنین بررسی تاثیر مقیاس نقشه بر عملکرد مدل یک بعدی و دوبعدی HEC-RAS از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد. نتایج نشان داد که با افزایش ابعاد سلول محاسباتی، میزان خطای مدل در شبیه‌سازی پهنه‌های سیلگیر نسبت به ابعاد سلولی کوچک نسبتاً پائین می‌باشد. به عنوان مثال، در صورت استفاده از یک شبکه محاسباتی با ابعاد ۵۰۰ متر به جای یک شبکه با ابعاد ۲۰ متر، میزان خطای مدل در برآورد پهنه سیلاب به کمتر از ۱۵ درصد محدود می‌گردد. مدت زمان اجرای مدل دوبعدی نیز در ابعاد سلولی ۵۰۰ متر تقریباً ۴۵ برابر کمتر از مدت زمان اجرای مدل در صورت استفاده از ابعاد سلولی ۲۰ متر است. یافته‌های مذکور به‌خوبی گویای این مطلب است که استفاده از مفهوم تغییرات درون سلولی در مدلسازی تا چه حد می‌تواند در زمان اجرای مدل‌های عددی به ویژه در رودخانه‌های بزرگ و با پیچیدگی زیاد موثر باشد. همچنین محاسبات صورت گرفته حاکی از آن است که اختلاف بین دو مدل یک بعدی و دوبعدی در شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی در مقیاس‌های کوچک نسبتاً ناچیز می‌باشد و با افزایش مقیاس نقشه اختلاف دو مدل مذکور نیز افزایش می‌یابد که علت اصلی لحاظ نمودن تمامی تغییرات توپوگرافی بستر و سیلابدشت رودخانه در مقیاس‌های بالا می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تغییرات درون سلولی؛ مهندسی رودخانه؛ HEC-RAS؛ ابعاد شبکه محاسباتی؛ رودخانه سرباز

مقدمه

انجام مطالعات و تحقیقات مهندسی هیدرولیک به طور معمول دارای پیچیدگی‌ها و محاسبات فراوانی است که مستلزم دقت و توجه زیاد می‌باشد. بنابراین لازم است قبل از اقدام به طراحی و اجرای پروژه‌های هیدرولیکی از نحوه عملکرد آنها اطلاعاتی به دست آورد. به منظور پیش‌بینی پدیده‌های پیچیده هیدرولیکی لازم است از تکنیک شبیه‌سازی یا مدلینگ استفاده شود که برای انجام این امر عمدتاً دو روش وجود دارد: یکی مدل ریاضی و دیگری مدل فیزیکی. در مدل‌های ریاضی اطلاعات موردنظر از طریق محاسبات بدست می‌آیند در حالی‌که این امر در مدل‌های فیزیکی با اندازه‌گیری امکان‌پذیر است (Versteeg and Malalasekera, 1995). امروزه با پیشرفت رایانه‌ها و توسعه هرچه بیشتر روش‌های عددی، مدل‌های ریاضی کاربرد فوق‌العاده وسیعی یافته‌اند. برای حل عددی معادلات دیفرانسیل جزیی حاکم بر هر میدان جریان،

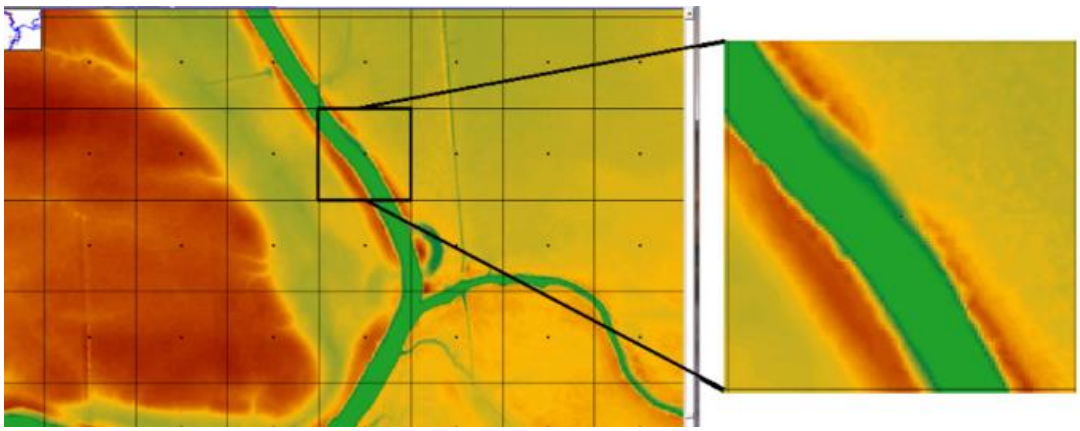
بایستی میدان مزبور به مجموعه‌ای از نقاط یا سلول‌ها گسسته شود. معادلات مزبور بر روی مجموعه نقاط و یا سلول‌های حاصله، با استفاده از یکسری معادلات جبری تقریب زده شده و در نهایت با حل دستگاه معادلات جبری حاصله، مجموعه‌ای از مقادیر عددی گسسته که به عنوان یک تقریب از حل معادلات بر روی کل میدان می‌باشند، حاصل می‌گردد (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۱). شبیه‌سازی مناسب پارامترهای هیدرولیکی جریان وابسته به عوامل مختلفی همچون: نوع مدل عددی مورد استفاده (یک بعدی، دو بعدی و حتی سه بعدی)، کیفیت و مقیاس نقشه‌های توپوگرافی، ابعاد سلول محاسباتی و نحوه برآورد ضرائب زبری بستر و سیلاب‌دشت‌های رودخانه، شرایط مرزی مدل عددی و . . . وابسته می‌باشد. در این راستا نقشه‌های توپوگرافی نقش اساسی را در تعیین صحت مدلسازی هیدرولیکی و برآورد دقیق پهنه سیلاب ایفا می‌نمایند (Brandt, 2005; Cook and Merwade, 2009). یکی از مهمترین مواردی که بر عملکرد مدل‌های دوبعدی سیلاب موثر می‌باشد، گسسته‌سازی میدان حل جریان می‌باشد که بایستی به‌نحوی صورت گیرد که منجر به حل کارای معادلات حاکم شود (Brandt, 2005; Cook and Merwade, 2009). شبکه‌بندی بر روی میدان بایستی طوری انجام شود که در انفصال یک معادله بر روی یک گره و یا سلول، تمام گره‌های مجاور آن براحتی قابل شناسایی باشد. علاوه بر آن، شبکه‌بندی بایستی حتی‌الامکان منطبق بر مرزهای میدان بوده و تمام میدان حل معادلات در نظر گرفته شود. بسیاری از مدل‌های هیدرولیکی به ویژه مدل‌های متوسط‌گیری شده در عمق از شبکه‌های هندسی منظم (مانند: شبکه مثلثی و یا مربعی) برای گسسته نمودن میدان حل استفاده می‌نمایند و در نهایت با استفاده از تکنیک‌های درون‌یابی ارتفاع متوسط هر سلول محاسباتی را بدست می‌آورند. عیب اصلی چنین مدل‌هایی این است که با افزایش ابعاد سلول محاسباتی، وسعت شبکه محاسباتی نیز افزایش می‌یابد و همین مساله موجب می‌شود که در طول فرآیند درون‌یابی ارتفاع سلول موردنظر تقریبی از مقدار ارتفاع تمامی نقاط واقع در آن سلول گردد (Werner, 2001; Sanders, 2007; Cook and Merwade, 2009; Saksena and Merwade, 2015). در چنین شبکه محاسباتی، تغییرات توپوگرافیکی بستر و سیلابدشت‌های رودخانه از بین رفته و مدل توانائی لحاظ نمودن جزئیات ارتفاعی را نخواهد شد و در نتیجه مشخصات هیدرولیکی شبیه‌سازی شده نیز با تقریب و خطای بسیار زیادی همراه خواهند بود. لذا برای استفاده از چنین مدل‌هایی بایستی ابعاد سلول محاسباتی را تا حد ممکن کوچک اختیار نمود تا بتوان از حداکثر اطلاعات توپوگرافی برای شبیه‌سازی مناسب استفاده نمود و همین مساله موجب افزایش تعداد سلول‌های محاسباتی و نیز افزایش مدت زمان اجرای مدل به ویژه در پروژه‌های بزرگ و پیچیده خواهد گردید (Schumann et al., 2008; Tarekegn et al., 2010; Gonga-Saholiariliva et al., 2011; Moya et al., 2013). با توجه به مشکلات مزبور، توسعه دهندگان مدل دوبعدی HEC-RAS 5.04 از مفهومی به نام تغییرات درون سلولی (Subgrid-Variability) برای در نظر گرفتن تمامی اطلاعات توپوگرافیکی واقع در یک سلول محاسباتی استفاده نموده‌اند (عزیزیان و صمدی، ۱۳۹۶). استفاده از این مفهوم موجب شده است که تاکید اصلی مدلسازی بر کیفیت نقشه توپوگرافی مورد استفاده باشد و نه ابعاد سلول محاسباتی که عاملی محدود کننده در مدل‌های متوسط‌گیری شده در عمق (مانند: CCHE2D، MIKE و IRIC) می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تاثیر کاربرد مفهوم تغییرات درون سلولی بر پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده توسط مدل دوبعدی HEC-RAS در رودخانه سرباز به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها

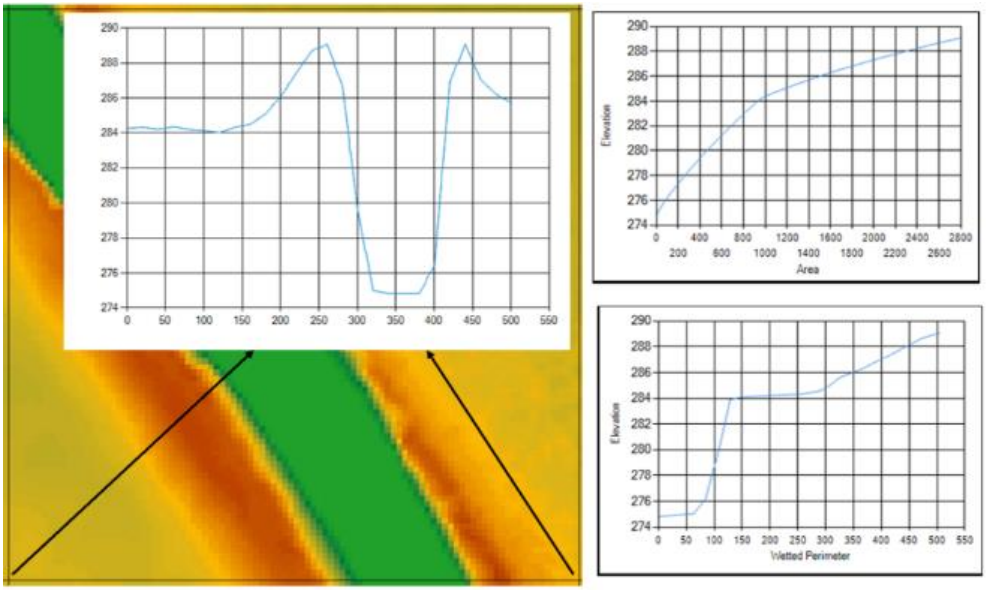
ساختار مدل دوبعدی HEC-RAS 5.04 و فلسفه مدلسازی آن

مدل یک بعدی HEC-RAS توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا توسعه یافته و علاوه‌بر شبیه‌سازی جریان، توانایی مدلسازی انتقال رسوب، کیفیت آب و همچنین شبیه‌سازی جریان غیرماندگار را دارا می‌باشد (Brunner, 2016a). توانایی این مدلسازی هیدرولیک جریان در بسیاری از پروژه‌ها و مطالعات انجام شده در سطح کشور و همچنین کشورهای مختلف دنیا به اثبات رسیده است. همچنین ارتباط آن با GIS جهت دریافت مدل هندسی و ارسال خروجی‌های هیدرولیکی از مزایایی است که در کمتر مدل عددی رایگان موجود می‌باشد. همانند تمامی مدل‌های یک بعدی، در این مدل عددی نیز برای معرفی هندسه بستر و سواحل رودخانه از مقاطع عرضی استفاده می‌شود. در حال حاضر برای استخراج خودکار مقاطع عرضی از روی مدل‌های رقومی ارتفاعی در محیط GIS، الحاقیه‌ای به نام HEC-GeoRAS وجود دارد که در کمترین زمان ممکن مدل هندسی موردنیاز مدل هیدرولیکی HEC-RAS را فراهم می‌نماید. در نسخه جدید مدل HEC-RAS، شبکه‌های محاسباتی نبایستی دارای بستری صاف و بدون شیب باشند. همچنین وجوه تشکیل دهنده هر کدام از سلول‌ها نبایستی دارای تنها یک رقوم ارتفاعی ثابت باشد. به همین علت سلول‌ها و وجوه محاسباتی باید دارای مشخصات کاملی از هندسه زمین (بستر رودخانه) واقع در زیر شبکه محاسباتی باشند. در طی یک فرآیند پیش پردازش که بر روی مدل هندسی سطح زمین صورت می‌گیرد، سلول‌ها و وجوه محاسباتی دارای جدول مشخصات هیدرولیکی مانند: مقطع عرضی، محیط خیس شده، ضریب مانینگ و ... خواهند شد. به عنوان مثال، یک مدل هیدرولیکی با ابعاد محاسباتی ۲۰۰ متری را در نظر بگیرید که بر روی یک مدل رقومی ارتفاعی با توان تفکیک ۱۰ متری، ساخته شده است. پیش‌پردازشگر شبکه دو بعدی، رابطه حجم- ارتفاع را برای هر سلول و بر اساس مدل رقومی ارتفاعی با توان تفکیک ۱۰ متری استخراج خواهد نمود (عزیزیان و صمدی، ۱۳۹۶؛ Brunner, 2016b). بنابراین یک سلول محاسباتی با توجه به رقوم سطح آب و نحوه تغییرات رقوم ارتفاعی داخل سلول، یک حجم مشخصی ایجاد خواهد نمود و همین مساله موجب خواهد شد که بخشی از سلول خشک و بخشی دیگر تر باشد (شکل‌های ۱ و ۲).

علاوه‌بر این هر کدام از وجوه سلول‌های محاسباتی نیز به مانند یک مقطع عرضی در نظر گرفته شده و پیش پردازش‌های مربوط به استخراج مشخصات هیدرولیکی (مانند: نمودار ارتفاع - محیط خیس شده، ارتفاع- مساحت، ارتفاع- ضریب زبری و ...) برای آنها نیز انجام خواهد شد. جریان عبوری از میان هر وجه بر مبنای اطلاعات مذکور می‌باشد (مشخصات هیدرولیکی). این مزیت این امکان را فراهم می‌نماید که بتوان از ابعاد سلولی بزرگتر نیز استفاده نمود و در عین حال از تمامی اطلاعات مدل رقومی موثر بر حرکت جریان نیز بهره برد.



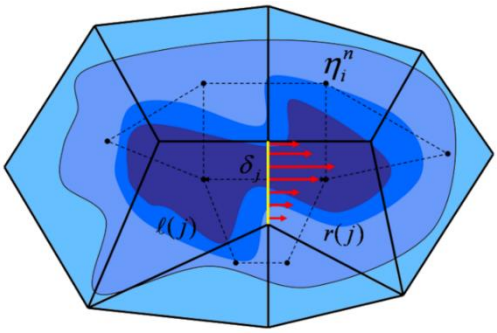
شکل ۱. جزئیات مدل رقومی سطح زمین واقع در زیر یک سلول



شکل ۲. مشخصات هیدرولیکی هر کدام از وجوه یک سلول دو بعدی

به عبارت بهتر آنچه که بر پارامترهای جریان و نحوه گسترش آنها تاثیرگذار می‌باشد، توان تفکیک مدل رقومی سطح زمین می‌باشد نه اندازه ابعاد سلول محاسباتی. استفاده از ابعاد سلولی بزرگ‌تر موجب انجام محاسبات کمتر و کاهش مدت زمان اجرای مدل خواهد گردید. همانطور که ملاحظه می‌گردد بر خلاف بسیاری از مدل‌های متوسط‌گیری شده در عمق مانند: CCHE2D، MIKE و IRIC که از مقدار متوسط ارتفاعی نقاط واقع در سلول‌ها استفاده می‌نمایند، مدل دوبعدی HEC-RAS 5.04 توانایی در نظر گرفتن تغییرات ارتفاعی سطح زمین واقع در هر سلول محاسباتی را دارا هستند. به عبارت بهتر این مدل توانائی لحاظ نمودن تغییرات درون سلولی (Subgrid-Variability) را دارا می‌باشد و همین مساله کارائی آن را در مدلسازی‌های پیچیده که نیازمند مدت زمان و حجم بالای محاسبات هستند، افزایش می‌دهد.

یک نمونه از شبکه محاسباتی واقع بر روی یک مدل رقومی ارتفاعی با جزئیات کامل در شکل (۳) نشان داده شده است. در این شکل، خطوط کنتور مربوط به مدل هندسی سطح زمین با رنگ‌های آبی و سلول‌های محاسباتی با رنگ مشکی ضخیم نشان داده شده‌اند. مرکز هر کدام از سلول‌های محاسباتی که در آنها رقوم سطح آب محاسبه می‌شود نیز با نقاط سیاه رنگ نشان داده شده است.

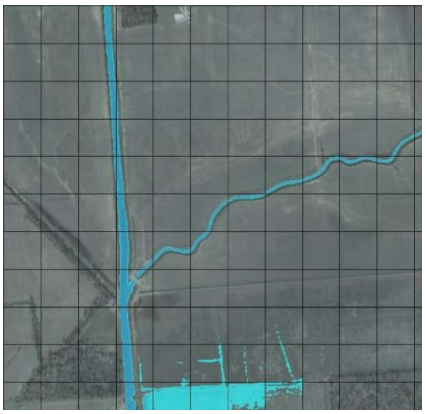


شکل ۳. شبکه محاسباتی بدون ساختار واقع بر روی یک مدل رقومی با جزئیات کامل (دارای تغییرات ارتفاع)(Brunner, 2014)

همانطور که عنوان شد، منحنی حجم- ارتفاع برای هر سلول بر اساس مدل رقومی سطح زمین واقع شدن در زیر شبکه محاسباتی می‌باشد. همچنین هر وجه سلول به صورت یک خط (مقطع عرضی) است که با تقاطع آن با مدل رقومی سطح زمین، مشخصات هیدرولیکی آن حاصل خواهد گردید. این فرآیند این امکان را برای جریان آب فراهم می‌سازد تا بتواند بر اساس جزئیات موجود در مدل هندسی سطح زمین (تغییرات درون سلولی ارتفاع)، بین سلول‌های محاسباتی حرکت نماید.

بنابراین، یک آبراهه کوچک عبوری از داخل یک سلول که نسبت به ابعاد سلول محاسباتی کوچک می‌باشد را می‌توان همچنان با استفاده از نمودارهای حجم- ارتفاع سلول و مشخصات هیدرولیکی وجوه یک سلول مدلسازی نمود (Brunner, 2014). نمونه‌ای از حالت مذکور در شکل (٤) نشان داده شده است.

همانطور که در شکل (٤) نشان داده شده، عرض بسیاری از آبراهه‌های موجود در نقشه کوچکتر از ابعاد سلول محاسباتی می‌باشد. اما با این وجود مدل به خوبی توانسته مسیر حرکت جریان را شبیه‌سازی نماید. تا زمانی که تراز سطح آب از خطوط سواحل تجاوز ننماید، جریان در داخل کانال اصلی به حرکت خود ادامه خواهد داد. اما با افزایش تراز سطح آب، جریان مازاد وارد سیلابدشت شده و با توجه به تغییرات رقوم ارتفاعی سطح زمین گسترش خواهد یافت.



شکل ٤- مزایای استفاده از مفهوم تغییرات درون سلولی برای مدلسازی دو بعدی جریان (Brunner, 2014)

در مدل حاضر برای استخراج معادلات حاکم بر حرکت آب در مجاری روباز از دو قانون اساسی به نام‌های قانون پیوستگی و قانون بقای اندازه حرکت استفاده می‌شود. این قوانین براساس معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی بیان می‌گردند که نحوه استخراج این معادلات به تفصیل توسط عزیزیان و صمدی (١٣٩٦) و Brunner (2014c) بیان شده است. مدل دوبعدی توانایی حل معادلات سنت ونانت را در قالب دو فرم موج دینامیک و موج دیفیوژن برای کاربر فراهم می‌نماید و از الگوریتم حجم محدود ضمنی برای حل در حالت غیرماندگار استفاده می‌کند. یکی از مزیت‌های اصلی روش‌های حل ضمنی معادلات، انتخاب گام‌های زمانی بزرگتر نسبت به روش‌های حل صریح می‌باشد. روش حجم محدود نسبت به روش‌های تفاضل محدود و اجزای محدود دارای پایداری و استحکام به مراتب بالاتری می‌باشد. از جمله محدودیت‌های مدل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

HEC-RAS توانایی مدلسازی نفوذ، تبخیر، جریان آب زیرزمینی یا ذوب برف را ندارد. شبیه‌سازی بارش- رواناب در مقیاس کوچک انجام می‌شود، و محدود به مدلسازی رواناب سطحی می‌باشد. جریان در شبکه‌های لوله‌ای یا نفوذ در سطوح دارای پوشش با استفاده از HEC-RAS قابل مدلسازی نیست. امکان مدلسازی جریان داخل سازه، کیفیت آب، و رسوب در مدل دوبعدی وجود ندارد. همچنین امکان اتصال ایستگاه پمپاژ به مدل جریان دوبعدی و مدلسازی جریان داخل پل و کالورت با مدل دوبعدی وجود ندارد.

معرفی محدوده مورد مطالعه

در این تحقیق برای ارزیابی میزان حساسیت خروجی مدل هیدرولیکی HEC-RAS نسبت به ابعاد سلول محاسباتی، رودخانه سرباز مورد استفاده قرار گرفت. رودخانه سرباز یکی از مهم‌ترین و سیلابی‌ترین رودخانه‌های استان سیستان و بلوچستان است. این رودخانه بخشی از رودخانه باهوکلات می‌باشد که از کوه پیرآباد سرچشمه گرفته و با نام ریگاب مسیر خود را به سمت بخش سرباز طی می‌کند. در این بخش با آبراهه قوامک تلفیق شده و به سمت جنوب غربی از دره‌های پرپیچ و خم عبور می‌کند و سپس با رودخانه کیشی نیز در هم آمیخته و پس از ترکیب با رودخانه‌های شبگیر و

گوهردشت، مسیر خود را به سمت جنوب شرقی طی می‌کند. رودخانه سرباز بعد از تلاقی با رودخانه پیشامگ، وارد بخش راسک می‌گردد. در این بخش نیز با آبراهه هدار مخلوط شده و روستاهای مختلفی را پشت سر می‌گذارد و در منطقه پیشین، به سد پیشین منتهی می‌شود و از سد پیشین به بعد با اسم باهوکلات در قسمت بندر گواتر چابهار به دریای عمان می‌ریزد. این رودخانه که دارای سوابق طغیان‌های متعدد می‌باشد نقش بسیاری در آبادانی زمین‌های اطراف خود دارد و از آنجا که آبرفت‌های زیادی را در این اراضی ته‌نشین می‌کند، بسیار پربرکت و آباد هستند (مهندسین مشاور سامان سدرود، ۱۳۹۰). در شکل (۵) نمائی از موقعیت جغرافیایی رودخانه سرباز نشان داده شده است. حوضه آبریز این رودخانه با وسعتی حدود ۵۰۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۹۹۰ متر، بین طول جغرافیایی تا شرقی و عرض جغرافیایی تا شمالی واقع شده است. رودخانه سرباز رودخانه‌ای عریض با سواحلی مرتفع و با مقطع U شکل می‌باشد. با توجه به ابعاد و اندازه این رودخانه و با استفاده از دوربین توتال استیشن نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۰۰۰ جهت ساخت مدل هندسی سطح زمین، تهیه گردید. همچنین لازم به ذکر است که در این پژوهش و برای ساخت DEM رودخانه از ابعاد سلولی ۱۰ متر استفاده شد.

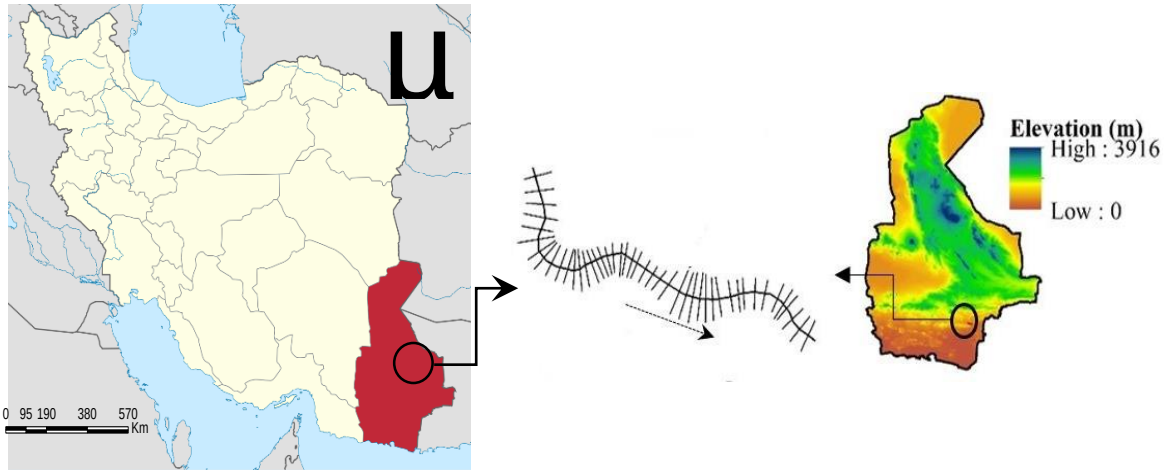
داده‌های مورد نیاز شبیه‌سازی

به منظور استفاده از مدل‌های یک‌بعدی و دو بعدی فوق‌الذکر، اطلاعات مورد نیاز از رودخانه سرباز در بازه‌ای به طول ۱۰ کیلومتر که به شرح زیر می‌باشند، مورد استفاده قرار گرفت: نقشه توپوگرافی رودخانه، هیدروگراف جریان ورودی از بالادست، مقاطع عرضی رودخانه (توپوگرافی مقطع عرضی رودخانه)، ضریب مانینگ در قسمت‌های مختلف هر مقطع.

نتایج و بحث

تاثیر ابعاد محاسباتی مختلف بر وسعت ناحیه سیل‌گیر

در این پژوهش از ابعاد سلولی ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ متری برای ساخت شبکه محاسباتی استفاده بعمل آمد. برای بررسی عملکرد مدل در شبیه‌سازی پهنه سیل‌گیر رودخانه سرباز، در حدود ۵ مقطع عرضی در بازه‌های مختلف انتخاب گردید و پهنه سیلاب بدست آمده در آنها با پهنه سیلاب بدست آمده از ابعاد سلولی ۲۰ متر مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج بدست آمده در شکل (٦) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه



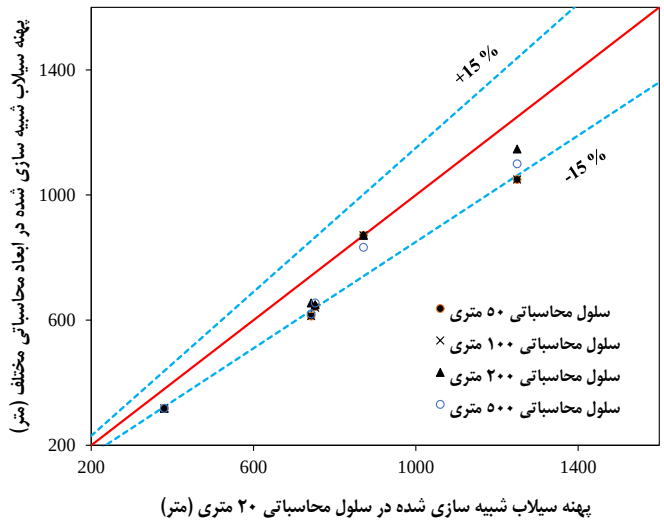
شکل ۵. موقعیت جغرافیایی و مدل رقومی ارتفاعی بازه مطالعاتی

بین پهنه سیلاب بدست آمده از شبکه ۲۰ متری (به عنوان مبنای مقایسه) و دیگر ابعاد سلولی افزایش می‌یابد اما این اختلاف همواره کمتر از ۱۵ درصد می‌باشد. به عبارت دیگر با استفاده از ابعاد سلولی بزرگتر مدت زمان اجرای مدل و نیز تعداد سلول‌های موردنیاز برای شبیه‌سازی به شدت کاهش پیدا می‌کند، و این در حالیست که حداکثر اختلاف در شبیه‌سازی پهنه سیلگیر به کمتر از ۱۵ و حتی در برخی مقاطع به کمتر از ۱۰ درصد نیز محدود می‌گردد. همچنین نکته مهم دیگری که می‌توان از این شکل برداشت نمود این است که افزایش ابعاد سلول محاسباتی منجربه شبیه‌سازی کمتر پهنه سیلاب نسبت به یک شبکه ریز مانند شبکه ۲۰ متری می‌گردد. در شکل (۷) نیز پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده در ابعاد سلولی مختلف نشان داده شده است. در این شکل نیز کاملاً مشهود می‌باشد که در بسیاری از بازه‌ها عملکرد مدل در شبیه‌سازی پهنه سیلاب در ابعاد سلولی مختلف تقریباً یکسان می‌باشد. هرچند در برخی بازه‌ها اختلافاتی بین پهنه‌های سیلاب وجود دارد که علت اصلی آن نیز عدم کفایت نقشه توپوگرافی در محدوده موردنظر می‌باشد. همچنین باز بزرگتر شدن ابعاد سلول محاسباتی، سلول‌های کناری (نزدیک به سواحل رودخانه) به صورت کاملاً نامنظم و غیرهندسی (چهارضلعی نامنظم، ذوزنقه، پنج ضلعی و . . .) ایجاد می‌شوند و همین مساله موجب کاهش عملکرد مدل در تخمین پهنه سیلاب می‌گردد.

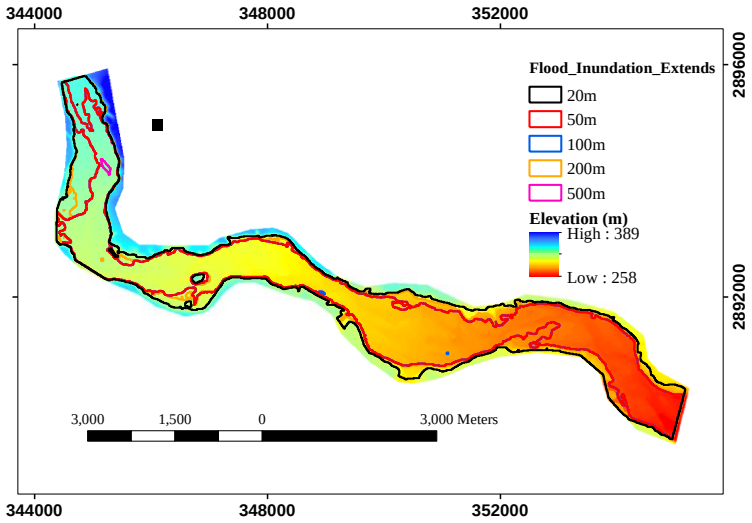
تاثیر ابعاد سلول محاسباتی مختلف بر مدت زمان شبیه‌سازی

در این بخش به ارزیابی اثر اندازه ابعاد سلول محاسباتی بر مدت زمان اجرای مدل و نیز تعداد سلول‌های موردنیاز برای شبیه‌سازی پرداخته شده که نتایج حاصله در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۸) نشان داده شده، با افزایش اندازه سلول محاسباتی مدت زمان اجرای مدل به شدت کاهش پیدا می‌کند به طوریکه رابطه بین مدت زمان شبیه‌سازی و اندازه سلول محاسباتی تقریباً از یک رابطه نمائی تبعیت می‌کند. همچنین لازم به ذکر است که با کاهش گام زمانی محاسبات، مدت زمان اجرای مدل هیدرولیکی افزایش می‌یابد ولی همچنان رابطه آن با اندازه سلول محاسباتی از یک رابطه توانی پیروی می‌نماید. طبق نتایج بدست آمده، مدت زمان اجرای مدل در صورت استفاده از ابعاد سلولی ۱۰۰ متر در حدود ۱۰ ثانیه است و این در حالیست که استفاده از ابعاد سلولی ۲۰ متر نیازمند مدت زمانی در حدود ٦ دقیقه و ۳۰ ثانیه می‌باشد (در گام زمانی ۱ دقیقه). به عبارت بهتر استفاده از ابعاد سلول ۱۰۰ متر موجب کاهش ۹۵ درصدی زمان اجرای مدل خواهد گردید. همانطور که در بخش قبل نیز عنوان شد، اختلاف بین عملکرد ابعاد سلولی ۲۰ و ۱۰۰ متر در شبیه‌سازی پهنه سیل‌گیر در حدود ۱۲/۹ درصد می‌باشد و این خوبی به خوبی گویای این مطلب است که در مدلسازی‌های پیچیده و بزرگ که نیازمند حجم محاسبات بسیار زیادی می‌باشند، استفاده از ابعاد سلولی بزرگ‌تر می‌تواند بسیار گره‌گشا باشد. علت اصلی این اختلاف نسبتاً کم در ابعاد سلولی مختلف، توانائی مدل HEC-RAS در لحاظ نمودن تغییرات توپوگرافی بستر رودخانه در داخل هر سلول محاسباتی می‌باشد. نکته مهم دیگری که از شکل (۸) می‌توان استنباط نمود این است که برای ابعاد سلولی بزرگ‌تر از ۱۰۰ متر تقریباً مدت زمان اجرای مدل ثابت می‌شود.

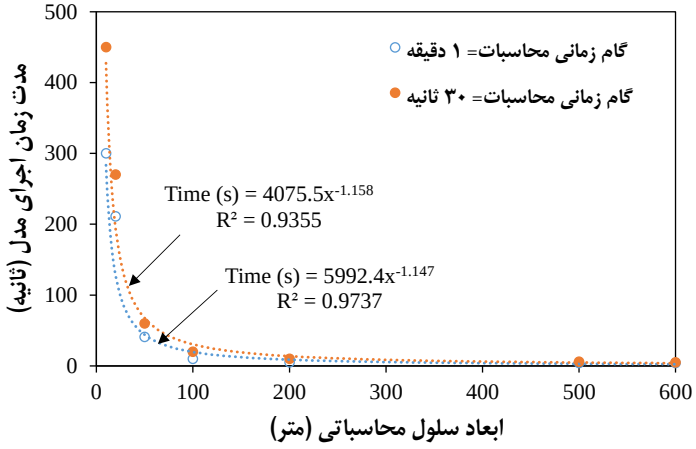
اثر تغییر ابعاد سلولی محاسباتی بر تعداد سلول‌های موردنیاز برای شبیه‌سازی (شکل ۹) نیز به خوبی گویای این مطلب است که رابطه بین این دو مولفه نیز تقریباً از یک رابطه توانی پیروی نموده و با افزایش ابعاد سلولی تعداد سلول‌های موردنیاز برای شبیه‌سازی جریان به شدت کاهش می‌یابد. طبق محاسبات بعمل آمده تعداد سلول‌های موردنیاز در صورت استفاده از ابعاد سلولی ۱۰۰ متر در حدود ۱٤٥ برابر تعداد سلول‌های یک شبکه محاسباتی با ابعاد سلولی ۲۰ متر می‌باشد.



شکل ٦. پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده در ابعاد سلولی مختلف نسبت به شبکه با ابعاد ۲۰ متری (در مقاطع مختلف)



شکل ۷. تاثیر ابعاد سلولی محاسباتی مختلف بر پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده توسط مدل هیدرولیکی

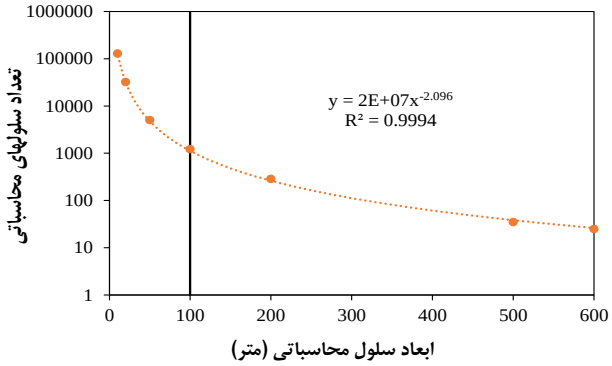


شکل ۸. تاثیر اندازه ابعاد سلول محاسباتی بر مدت زمان اجرای مدل دوبعدی

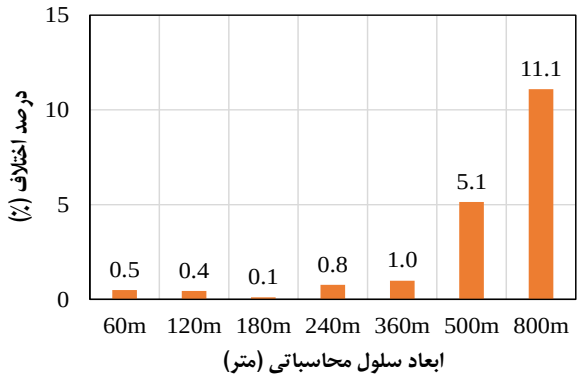
تاثیر ابعاد سلول محاسباتی بر عملکرد مدل دوبعدی HEC-RAS 5

برای بررسی میزان وابستگی مدل دوبعدی به ابعاد سلول محاسباتی، در رودخانه سرباز و در یک مقیاس مشخص (۱:۱۰۰۰)، مدل دو بعدی در ابعاد محاسباتی به ترتیب ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۶۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ متر اجرا و پهنه سیلاب بدست آمده از هر حالت نسبت به ابعاد محاسباتی مبنا (۳۰ متر) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. بررسی نتایج بدست آمده (شکل ۱۰) نشان داد که تا ابعاد سلولی ۵۰۰ متر اختلاف بین پهنه سیلاب بدست آمده و مقدار متناظر بدست آمده از شبکه محاسباتی مبنا به کمتر از ٦ درصد محدود می‌گردد. همچنین برای ابعاد محاسباتی کمتر از ۳٦۰ متر عملاً اختلاف معنی‌داری بین ابعاد محاسباتی مختلف وجود ندارد و همگی آنها منجربه شبیه‌سازی پهنه سیلاب یکسانی می‌گردند.

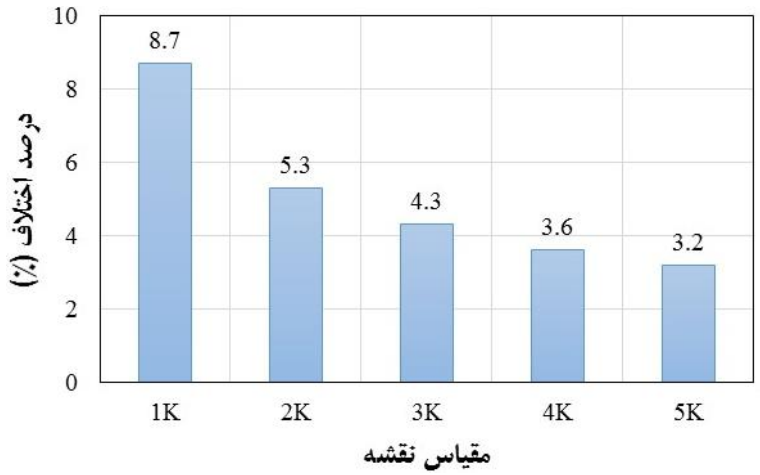
در این پژوهش علاوه‌بر مدلسازی یک بعدی از مدل دو بعدی HEC-RAS 5 نیز برای بررسی اثر مقیاس نقشه توپوگرافی بر پارامترهای هیدرولیکی جریان استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در مقیاس‌های بزرگ مانند نقشه ۱:۱۰۰۰، متوسط اختلاف بین مدل یک بعدی و دو بعدی در برآورد پهنه سیلاب در مقاطع عرضی مختلف رودخانه در حدود ۸/۷ درصد می‌باشد که این اختلاف با کاهش مقیاس نقشه بسیار کاهش می‌یابد (شکل ۱۱). به عنوان مثال در مقیاس‌های ۱:٤۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰ متوسط اختلاف بین عملکرد دو مدل به کمتر از ٤ درصد می‌رسد و این خود به خوبی گویای این مطلب است که در نقشه‌های با مقیاس کوچک، انتخاب نوع مدل هیدرولیکی (یک بعدی و یا دو بعدی) برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی سیلاب از اهمیت زیادی برخوردار نمی‌باشد. لذا در مواردی که نقشه‌های با مقیاس بزرگی در اختیار نمی‌باشد می‌توان از مدل‌های یک بعدی که دارای ساختار به مراتب ساده‌تری هستند استفاده نمود.



شکل ۹. تاثیر اندازه ابعاد سلول محاسباتی بر تعداد سلول‌های محاسباتی موردنیاز



شکل ۱۰. اختلاف بین پهنه سیلاب بدست آمده در ابعاد محاسباتی مختلف نسبت به حالت مبنا (رودخانه سرباز)



شکل ۱۱. اثر مقیاس نقشه توپوگرافی بر میزان اختلاف مدل‌های یک بعدی و دو بعدی در برآورد پهنه سیلاب

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی اثر کاربرد مفهوم تغییرات درون سلولی (Subgrid-Variability) و کاهش وابستگی مدل هیدرولیکی به ابعاد سلول محاسباتی در رودخانه سرباز پرداخته شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که بر خلاف مدل‌های متوسط‌گیری شده در عمق که به شدت وابسته به ابعاد سلول محاسباتی هستند، مدل دوبعدی HEC-RAS 5.04 از وابستگی کمتری نسبت به اندازه ابعاد سلول محاسباتی برخوردار می‌باشد و همین مساله موجب می‌شود بتوان با صرف کمترین هزینه و در کمترین زمان ممکن به شبیه‌سازی مناسب جریان پرداخت. از سوئی دیگر همگرائی مدل به هیچ وجه تحت تاثیر اندازه سلول محاسباتی قرار نداشته و موجب می‌شود در پروژه‌های بزرگتر بتوان با استفاده از ابعاد سلولی بزرگتر به نتایج مناسب رسید. محاسبات نشان داد که در صورت استفاده از یک شبکه محاسباتی با ابعاد ۵۰۰ متر به جای یک شبکه با ابعاد ۲۰ متر، پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده در بخش‌های مختلف رودخانه سرباز به کمتر از ۱۵ درصد محدود می‌گردد. همچنین مدت زمان اجرای مدل تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد. یافته‌های بدست آمده در این پژوهش به خوبی گویای تاثیر قابل توجه مفهوم تغییرات درون سلولی بر عملکرد مدل هیدرولیکی می‌باشد و لذا توصیه می‌شود به هنگام توسعه مدل‌های هیدرولیکی و حتی هیدرولوژیک این مفهوم ارزشمند مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی " پایش وضعیت مورفولوژی رودخانه سرباز و ارزیابی وضعیت نواحی ساحلی آن در اثر جابجایی رودخانه براساس نتایج مدلسازی عددی دوبعدی تغییرات پلان رودخانه" تحت قرارداد شماره م/۹۳/۱۲۲ مورخ ۹۳/۰۲/۲۰ (کد ۱۲۸۳۲۹-۷۵۸۸) است که با حمایت کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان به انجام رسیده است. بدین‌وسیله از کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان به خاطر حمایت از انجام طرح مزبور تشکر و قدردانی می‌نماید.

فهرست منابع

عزیزیان، ا.، صمدی، ا.، ۱۳۹۶. شبیه‌سازی دوبعدی سیلاب در بستر مدل عددی HEC-RAS 5. انتشارات پارسیا، ۲۱۵ ص.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۱. راهنمای کاربرد مدل‌های ریاضی و فیزیکی در مطالعات مهندسی و ساماندهی رودخانه، نشریه شماره ۵۸٤، ایران، ۱٥٤ ص.

مهندسین مشاور سامان سدرود، ۱۳۹۰. گزارش مطالعات هیدرولیک رودخانه سرباز، مطالعات ساماندهی و تعیین حد بستر و حریم رودخانه سرباز، شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، وزارت نیرو.

Brandt, S. 2005. Resolution issues of elevation data during inundation modeling of river floods. In Proceedings of XXXI International Association of Hydraulic Engineering and Research Congress (IAHR), 3573–3581.

Brunner, G.W. 2014. Combined 1D and 2D Modeling with HEC- RAS. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 130 p.

Brunner, G.W. 2016a. HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Version 5.0. Davis, CA: US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 962 p.

Brunner, G.W. 2016b. HEC-RAS River Analysis System. 2D Modeling User's Manual. Version 5.0. Davis, CA: US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 171 p.

Brunner, G.W. 2016c. HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 5.0. Davis, CA: US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 547 p.

Cook, A., and Merwade, V. 2009. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. J. Hydrol, 377, 131–142.

Gonga-Saholiariliva, N., Gunnell, Y., Petit, C., and Mering, C. 2011. Techniques for quantifying the accuracy of gridded elevation models and for mapping uncertainty in digital terrain analysis. Progress in Physical Geography, 35(6), 739–764.

Moya, Q., Popescu, V., Solomatine, I., and Bociort, L. 2013. Cloud and cluster computing in uncertainty analysis of integrated flood models. Journal of Hydroinformatics, 15, 55–69.

Saksena, S., and Merwade, V. 2015. Incorporating the effect of DEM resolution and accuracy for improved flood inundation mapping. Journal of Hydrology, 530, 180–194.

Sanders, B.F. 2007. Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. Advances in Water Resources, 30(8), 1831–1843.

Schumann, G., Matgen, P., Cutler, M.E.J., Black, A., Hoffmann, L., and Pfister, L. 2008. Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM. ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing, 63(3), 283–296.

Tarekegn, T.H., Haile, A.T., Rientjes, T., Reggiani, P., and Alkema, D. 2010. Assessment of an ASTER generated DEM for 2D flood modelling. International Journal of Applied Earth Observation and Geo information, 12, 457–465.

Versteeg, H.K., Malalasekera, W. 1995. An Introduction to Computational Fluid Dynamics, the Finite Volume Method, Longman, 520 p.

Werner, M.G.F. 2001. Impact of grid size in GIS based flood extent mapping using 1-D flow model. Journal of Physics and Chemistry of the Earth (B), 26, 517–522.

ISSN 2251-7480

Influence of the concept of subgrid variability, computational mesh dimensions and topographic map scale on the performance of HEC-RAS 2D model in simulating river floodplains (Case study: Sarbaz River)

Amir Samadi[*1], Asghar Azizian[2]

1,2) Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.
[*]Corresponding author email: samadi@eng.ikiu.ac.ir

Received: 04-04-2019 Accepted: 15-05-2020

Abstract

Many existing hydraulic models, most of which are classified as depth-averaged models, use regular computational networks to discrete the solution field, which in turn reduces their efficiency, especially in larger cell sizes. Unlike the aforementioned models, the 2D HEC-RAS model uses a new concept called subgrid-variability to include elevation changes within a computational cell and thus has very little dependence on computational cell dimensions. The purpose of this study was to evaluate the effect of the concept of subgrid-variability on the simulated flood area in the Sarbaz River. The other purposes of this study is to investigate the effect of map scale on the performance of 1D and 2D HEC-RAS model. The results showed that with increasing computational cell dimensions, the model error in simulating flood zones was relatively low compared to small cell dimensions. For example, if using a computing grid with dimensions of 500 meters instead of a 20 meters grid, the simulated flood area in different parts of the Sarbaz River would be less than 15 percent. The run time of the 2D model in the cell dimension of 500 meters is approximately 45 times less than the run time of the model in case of using cell dimensions of 20 meters. The findings clearly indicate to what extent the use of the concept of subgrid variability in modeling can be effective when implementing numerical models, especially in large and complex rivers. The calculations also show that the difference between 1D and 2D models in the simulation of hydraulic parameters in small scales is relatively small and by increasing the map scale, the difference between the two models increases. The main reason is to consider all the topographic changes of the river bed and floodplain at high scales.

Keywords: Computational Mesh Dimensions, Hec-RAS, River Eng., Sarbaz River, Subgrid-Variability.