

کارایی HEC-RAS و GIS در شبیه‌سازی یک‌بعدی هیدرودینامیک جریان در رودخانه

جواد ظهیری*^۱ و مهران آشناور^۲

^۱ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
^۲ دانش‌آموخته گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(دریافت: ۹۷/۱/۳۰، پذیرش: ۹۸/۴/۲۳، نشر آنلاین: ۹۸/۴/۲۳)

چکیده

مدل‌سازی جریان رودخانه یکی از پیچیده‌ترین مسائل هیدرولیک به حساب می‌آید و انجام آن در تمامی پروژه‌های مهندسی رودخانه ضرورت دارد. تاکنون مدل‌های متعددی جهت مدل‌سازی هیدرولیک رودخانه ارائه شده‌اند که می‌توانند جریان را به صورت یک، دو و یا سه‌بعدی شبیه‌سازی کنند. در این تحقیق با توجه به زمان‌بر بودن اجرای مدل‌های دو و سه‌بعدی از مدل یک‌بعدی جهت شبیه‌سازی جریان در رودخانه کارون و در حداقل ایستگاه ملائانی تا فارسیات استفاده شده است. با توجه به ماهیت یک‌بعدی مدل ریاضی مورد استفاده و عدم دقت مناسب در بعضی از قسمت‌های رودخانه که ماهیت جریان به صورت دوبعدی می‌باشد، از تصاویر ماهواره‌ای و شبیه‌سازی مقاطع به صورت سه‌بعدی استفاده گردید. براساس نتایج به دست آمده، نه تنها تفاوت محسوسی در مدت زمان اجرای مدل یک‌بعدی صورت نگرفته است، بلکه مدل توانسته است با توجه به توپوگرافی تعریف شده، مقادیر پارامترهای هیدرولیکی را در نقاط مختلف رودخانه ارائه دهد. نتایج شبیه‌سازی جریان در ایستگاه اهواز که به عنوان ایستگاه شاهد انتخاب گردید، نشان می‌دهد که مدل ارتفاعی به کار رفته در مدل ریاضی باعث افزایش دقت نتایج مدل‌سازی گردیده است. یکی از موارد مهم در شبیه‌سازی جریان مربوط به قوس‌های رودخانه بوده که با استفاده از تکنیک به کار گرفته شده، هیدرولیک جریان در قوس‌ها با دقت مناسبی شبیه‌سازی شده است. معیارهای آماری مورد استفاده در این تحقیق از قبیل جذر میانگین مربعات خطا و ضریب ناش- ساتکلیف (Nash-Sutcliffe) نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل ریاضی در شبیه‌سازی جریان در رودخانه کارون می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی جریان رودخانه، مدل عددی، تصاویر ماهواره‌ای، قوس رودخانه، ضریب ناش- ساتکلیف.

۱- مقدمه

معین، قابلیت بررسی جریان رودخانه‌ای را دارند. بررسی قابلیت مدل‌های مختلف برای شبیه‌سازی خصوصیات جریان در یک بازه رودخانه‌ای نظیر عمق، سرعت و تنش برشی در کناره‌های رودخانه از نیازهای اساسی در طرح‌های مهندسی رودخانه است. با این وجود از نظر کاربردی، نیاز حداقل به اطلاعات صحرائی، حجم محاسباتی اندک و درجه اعتماد کاربرد مدل‌های ریاضی در شرایط رودخانه‌های طبیعی از اهمیت بسزایی برخوردار است (بی‌نام، ۱۳۸۶).

تاکنون تحقیقات متعددی راجع به شبیه‌سازی هیدرولیک جریان با استفاده از مدل‌های هیدرودینامیکی انجام شده است. این مدل‌ها معادلات یک‌بعدی و دوبعدی جریان را به صورت عددی حل می‌کنند. از مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان به مدل HEC-RAS^۱ اشاره نمود که نسخه تکامل یافته HEC2 به حساب می‌آید. مدل یک‌بعدی HEC-RAS می‌تواند پارامترهای هیدرولیکی جریان از

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع آبی هستند که نقش بسیار مهمی در تمدن بشر داشته‌اند. به همین دلیل انسان در طول تاریخ سرمایه‌گذاری‌های زیادی را در جهت کنترل و بهره‌برداری از آب رودخانه‌ها نموده است. احداث سدها و بندهای مختلف در مسیر رودخانه‌ها از جمله این سرمایه‌گذاری‌ها بوده است. رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر زمین‌شناسی منطقه، توپوگرافی دره رودخانه، خصوصیات مواد آبرفتی سیلاب‌دشت رودخانه، مشخصات هیدرولیکی حوضه آبخیز، شرایط هیدرولیکی جریان و نیز نحوه بهره‌برداری بشر از آن، تمایل طبیعی به دستیابی به تعادل پویا دارند. طبیعت تغییرپذیری برخی از عوامل فوق سبب می‌گردد تا رودخانه حتی در کوتاه‌مدت و در بازه‌های مختلف آن همواره در معرض تغییر و تحول باشد. مدل‌های ریاضی با استفاده از روابط ریاضی و عموماً با روش حل عددی، تحت شرایط اولیه و مرزی

1. Hydrologic Engineering Center-River Analysis System

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۶۶۵۳۱۸۹۶

آدرس ایمیل: j.zahiri@asnruk.ac.ir (ج. ظهیری)، ashna.mehran@gmail.com (م. آشناور).

جریان براساس حداکثر میزان بارندگی اتفاق افتاده در منطقه به- ترتیب برابر ۴ متر و ۱۱/۷۵ متر بر ثانیه برآورد گردید.

Zeľaňáková و همکاران (۲۰۱۹) اقدام به مدل سازی سیلاب در رودخانه Slatvinec با استفاده از نرم افزار HEC-RAS پرداختند. علاوه بر این از سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت تعیین بازه‌هایی از اطراف رودخانه که تحت تأثیر سیلاب قرار می‌گیرند، استفاده گردید. هدف از این تحقیق برآورد میزان خسارت وارد شده به محدوده‌های اطراف رودخانه تحت تأثیر سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت متفاوت بوده است.

Dey و همکاران (۲۰۱۹) از نرم افزار HEC-RAS جهت بررسی تأثیر روش‌های مختلف ژرفاسنجی بر روی تعیین مشخصات هیدرولیکی رودخانه‌ها پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده، در کانال‌های با ضریب سینوسی پایین (کمتر از ۱/۵) یا عرض کم، می‌توان از شکل‌های هندسی ساده جهت شبیه‌سازی مقطع آبراهه استفاده نمود. با توجه به اهمیت توپوگرافی بستر و محدوده‌های اطراف رودخانه بر روی شرایط هیدرولیکی جریان، لازم است ابزاری برای تلفیق با HEC-RAS به کار گرفته شود تا بتوان با تغییرات لازم در کاربری‌ها به لحاظ هندسی، اثرات هیدرولیکی آن را در مدل ریاضی بررسی و خروجی‌های دقیق و مناسبی را تهیه کرد. لذا در این تحقیق از تلفیق GIS و الحاقی HEC-GeoRAS همراه با HEC-RAS به منظور شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی رودخانه کارون واقع در استان خوزستان استفاده گردید.

۲- مواد و روش‌ها

اطلاعات و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از سازمان آب و برق استان خوزستان تهیه گردید. این اطلاعات شامل اطلاعات مقاطع رودخانه کارون، دبی جریان و تراز سطح آب در سه ایستگاه آب‌سنجی ملاثانی، اهواز و فارسیات است. نقشه ارتفاعی مورد استفاده برای این مطالعه با دقت ۳۰ متر و از سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ دریافت شد. محیط GIS می‌تواند ابزار مناسبی جهت شبیه‌سازی بستر رودخانه و دشت‌های سیلابی به- حساب آید (Maidment و Tate، ۱۹۹۹). بدین منظور مقاطع برداشت شده در قسمت‌های مختلف رودخانه کارون مورد استفاده قرار گرفتند. این مقاطع شامل ۸۰۰۰۰ نقطه ارتفاعی از بازه ایستگاه آب‌سنجی ملاثانی تا فارسیات هستند که علاوه بر بستر رودخانه، سواحل را نیز در بر می‌گیرند. در مرحله اول نقشه ارتفاعی منطقه به حالت متریک با مختصات UTM Zone 39 تبدیل شد و سپس مختصات UTM سایر نقاط تعیین گردید. در مرحله بعد جهت آماده‌سازی نقشه ارتفاعی منطقه، می‌بایست بستر رودخانه و سواحل در دو لایه مجزا در محیط GIS قرار گیرند. بعد از آن

جمله ارتفاع سطح آب و سرعت جریان را در کل طول مسیر در حالت‌های پایدار و ناپایدار محاسبه کند. در سال‌های اخیر جهت مدل سازی و شبیه‌سازی سیلاب در رودخانه‌ها، از نرم‌افزار GIS در تلفیق با مدل‌های هیدرولیکی از جمله HEC-RAS استفاده شده است (Ackerman، ۲۰۰۵).

Barr (۲۰۰۲) به بررسی کاربرد IS در مدل سازی هیدرولیک جریان پرداخت و نشان داد که یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از HEC-RAS و الحاقی HEC-GeoRAS دقت و صرفه‌جویی در هزینه‌های مربوط به طرح‌های مهندسی رودخانه به‌ویژه در حوزه‌های بزرگ و در نهایت اعمال بهترین روش مدیریتی در حوزه رودخانه می‌باشد.

Johnson و همکاران (۱۹۹۹) مدل HEC-RAS را برای پیش-بینی و تعیین حد اراضی مرطوب در آمریکا به کار بردند. آن‌ها با استفاده از این مدل، پروفیل سطح آب رودخانه را ترسیم نمودند و نشان دادند که روش فوق یک روش معتبر برای تعیین کمیت اثر انحراف روی اراضی مرطوب کناره رودخانه‌ها می‌باشد.

حکمتی فر و همکاران (۱۳۸۸) ارزیابی خسارات ناشی از سیلاب در رودخانه قره‌سو را با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش مساحت پهنه‌های سیل تا دوره بازگشت ۱۰۰ سال نسبت به دوره بازگشت بالاتر بسیار شدیدتر است.

سپهری و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی نتایج شبیه‌سازی سیلاب در رودخانه گرگان‌رود با استفاده از HEC-RAS و GIS نشان دادند که احتمال حرکت سیل از کانال اصلی به دشت مجاور وجود دارد که بر اساس نتایج به دست آمده، اقدامات حفاظتی لازم برای کنترل سیل در بازه‌های مربوطه پیشنهاد شد.

پورحسین قادی و همکاران (۱۳۹۱) در رودخانه تجن استان مازندران نتایج پهنه‌بندی سیل را با استفاده از HEC-RAS به صورت مناطق با خطرپذیری کم، متوسط و بالا در حاشیه رودخانه تعیین و پیشنهادهایی برای کاهش خسارات ناشی از سیل در رودخانه ارائه دادند.

Andam (۲۰۰۳) در مقایسه رژیم رودخانه‌های جنگلی و خارج از جنگل با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و الحاقی HEC-GeoRAS تغییرات سرعت و عدد فرود را در این دو نوع رودخانه مورد بررسی قرار داد و تأثیر پوشش گیاهی بر رژیم و رفتار هیدرولیکی جریان را با این مدل مورد مقایسه قرار داد.

Ezz (۲۰۱۸) جهت بررسی وضعیت جاده قرار گرفته بر روی فلات اسیوط^۱ در مصر تحت تأثیر سیلاب از ترکیب HEC-RAS و GIS استفاده نمود. براساس مدل تهیه شده حداکثر عمق و سرعت

2. United States Geological Survey (USGS)

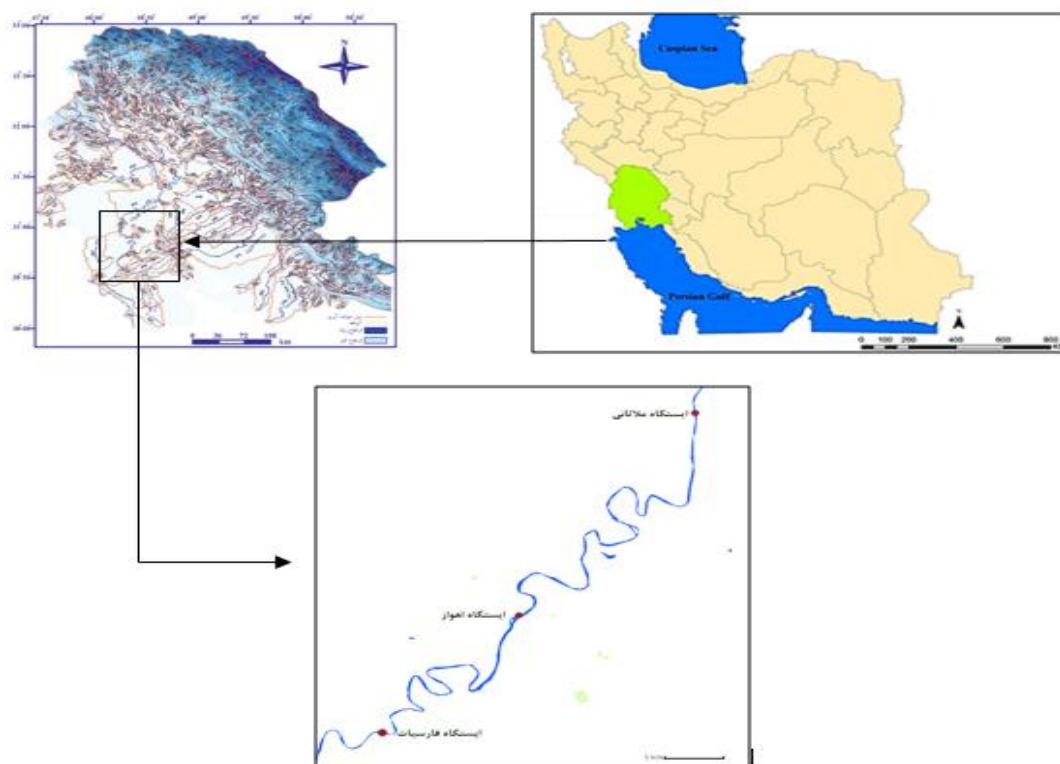
1. Assiut plateau

شوشتر، توسط بند میزان که توسط شاپور اول ساخته شده، رودخانه به دو شاخه شطیپ یا دجیل و شاخه گرگر تقسیم می شود. در بند قیر دو شاخه مذکور به علاوه رودخانه دز به هم ملحق شده و به سمت جنوب جریان می یابد. بخشی از رودخانه کارون در شمال خرمشهر به سمت غرب منحرف شده و بهمنشیر را تشکیل می دهد و بخشی از آن به اروندرود وارد می شود (ظهیری، ۱۳۸۶). محدوده طرح مورد مطالعه حدود ۱۱۰ کیلومتر می باشد که ایستگاه های آب سنجی ملاثانی و فارسیات به عنوان ایستگاه های دارای شرایط مرزی در بالادست و پایین دست در نظر گرفته شدند و ایستگاه اهواز به عنوان ایستگاه شاهد جهت صحت-سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات ایستگاه های مورد استفاده در جدول (۱) و موقعیت جغرافیایی این ایستگاه ها در رودخانه کارون در شکل (۱) نشان داده شده است.

نقاط ارتفاعی مورد نظر به نقشه اضافه شدند و به دو دسته نقاطی که بستر رودخانه و نقاطی که سواحل را پوشش می دادند، تقسیم شدند. عملیات درون یابی به روش کریجینگ^۱ میان نقاط مورد نظر انجام شد و بستر رودخانه با دقت بسیار بالایی تهیه گردید. در مرحله آخر لایه های سواحل و بستر رودخانه دوباره به هم متصل شدند و نقشه ارتفاعی منطقه با داشتن بستر رودخانه و مختصات UTM جهت پردازش و مدل سازی آماده شد. سه ایستگاه مورد مطالعه در این تحقیق بر روی رودخانه کارون قرار گرفته اند. این رودخانه به طول ۸۹۰ کیلومتر از چهار شاخه اصلی به نام های خرسان، آب ونک، آب کیار و بازفت تشکیل گردیده است. پس از اتصال چهار شاخه اصلی، رودخانه در جهت عمومی شمال غربی- جنوب شرقی جریان می یابد. رودخانه کارون پس از ورود به دشت خوزستان در شمال گتوند، به سمت جنوب جریان می یابد. در

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های آب سنجی مورد استفاده در این مطالعه

ایستگاه	رودخانه	اطلاعات مورد استفاده	دوره آماری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
ملاثانی	کارون	هیدروگراف	۱۳۹۳-۹۴	۲۹۸۶۴۹	۳۴۹۶۲۵۵	۲۸
اهواز	کارون	هیدروگراف و اشل	۱۳۹۳-۹۴	۲۷۹۵۸۲	۳۴۶۸۸۶۳	۱۰
فارسیات	کارون	اشل	۱۳۹۳-۹۴	۲۶۲۸۹۴	۳۴۵۱۵۵۲	۱۰



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه های آب سنجی

شمالی و نصف‌النهار ۴۹ درجه شرقی را در برمی‌گیرد. وضوح داده‌های خام تصاویر SRTM یک ثانیه قوسی (۳۰ متر) است و هر موزائیک داده ۳۰ متری دارای ۳۶۰۱ ردیف داده است که هر یک از آن‌ها ۳۶۰۱ سلول ۱۶ بیتی اندیان دارد. تصویر ماهواره‌ای فوق از سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۸ تهیه گردید. در تصاویر ماهواره‌ای ارتفاع کف رودخانه به صورت ارتفاع سطح آب نمایش داده می‌شود، به همین دلیل بسترسازی رودخانه می‌بایستی در محیط GIS انجام گردد. بدین منظور مقاطع برداشت شده توسط سازمان آب و برق خوزستان در قسمت‌های مختلف رودخانه کارون جهت شبیه‌سازی بستر رودخانه مورد استفاده قرار گرفتند. بدین ترتیب در مرحله اول نقشه ارتفاعی منطقه به حالت متریک با مختصات UTM Zone 39 تبدیل شد و سپس نقاط مربوط به مقاطع رودخانه که فاقد مختصات UTM بودند، مختصات آن‌ها معلوم گردید. عملیات درون‌یابی جهت ساخت نقشه نهایی به روش کریجینگ میان نقاط موردنظر انجام شد و بستر رودخانه با دقت بالایی تهیه گردید. جهت تهیه نقشه رودخانه کارون برای پردازش در مدل HEC-RAS از الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط GIS استفاده گردید. الحاقیه HEC-GeoRAS که در سال ۱۹۹۹ منتشر شد، اولین رابط ساخته شده به‌طور ویژه برای کمک به مهندسان هیدرولیک بود (Ackerman, ۲۰۰۵).

رابط HEC-GeoRAS شامل مجموعه‌ای ساده از ابزار ماکرو بوده که با افزودن این الحاقیه به محیط GIS می‌توان برای ایجاد داده‌های هندسی و استخراج اطلاعاتی مانند اطلاعات مقاطع عرضی از روی نقشه ارتفاعی استفاده نمود. لازمه استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS در دسترس بودن نقشه ارتفاعی منطقه است (Ackerman و همکاران، ۲۰۱۰). مراحل مدل‌سازی رودخانه کارون توسط الحاقیه HEC-GeoRAS به ترتیب زیر می‌باشد:

- ۱- تبدیل نقشه ارتفاعی Raster به Tin
- ۲- تعیین مسیر رودخانه از بالادست به پایین دست با استفاده از ابزار Stream Centerline
- ۳- مشخص کردن دشت‌های سیلابی توسط Bank Lines
- ۴- قراردادن لایه Flow Path به‌عنوان مشخص‌کننده مرز دشت‌های سیلابی
- ۵- در نظر گرفتن مقاطع عرضی با فواصل ۳۰۰ متر در مسیرهای مستقیم و فواصل حدود ۵۰ متر در قوس‌ها به دلیل تغییرات شدید خصوصیات جریان در این نواحی توسط لایه XS Cutlines
- ۶- اتمام مدل‌سازی در HEC-GeoRAS و خروجی گرفتن از آن برای فراخوانی در محیط HEC-RAS

جهت شبیه‌سازی جریان از نرم‌افزار HEC-RAS که توسط گروه مهندسی مشاور ارتش آمریکا^۹ توسعه یافته است، استفاده گردید. در این مدل روش حل معادلات در حالت جریان پایدار، روش استاندارد گام‌به‌گام^۶ و در حالت ناپایدار روش تفاضل‌های محدود ضمنی^۷ می‌باشد. مدل می‌تواند در جریان زیربحرانی، فوق‌بحرانی و جریان ترکیبی همراه با جهش هیدرولیکی، پارامترهای هیدرولیکی و پروفیل سطح آب را محاسبه کند (عزیزپناه و همکاران، ۱۳۹۴). معادلات جریان غیرماندگار حاکم بر مدل HEC-RAS به صورت زیر می‌باشند:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\Phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial((1-\Phi^2)Q^2 / A_f)}{\partial x_f} + gA_c \left[\frac{\partial Z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + gA_f \left[\frac{\partial Z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \quad (2)$$

در روابط فوق Q برابر با دبی کل جریان، A مساحت مقطع جریان، S_{fc} شیب خط انرژی در کانال اصلی، S_{ff} شیب خط انرژی در دشت‌های سیلابی، g شتاب ثقل و Φ ضریب انتقال جریان بوده که نشان‌دهنده نسبتی از دبی کل است که در کانال اصلی جریان می‌یابد. این معادلات در مدل HEC-RAS با استفاده از روش تفاضل‌های محدود و به صورت ضمنی حل شده‌اند و در حل این معادلات از روش نیوتن-رافسون استفاده گردیده است (Brunner, ۲۰۱۶).

در این تحقیق جهت شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی جریان در ایستگاه آب‌سنجی اهواز از مدل یک‌بعدی HEC-RAS در شرایط غیرماندگار و نقشه ارتفاعی منطقه برای مدل یک‌بعدی در رابط کاربری RAS Mapper استفاده گردید. براین اساس از تصاویر ماهواره‌ای SRTM 1 Arc-Second Global^۸ جهت تهیه نقشه توپوگرافی محدوده مورد مطالعه استفاده گردید. SRTM یک پروژه تحقیقاتی جهانی برای تهیه مدل‌های رقومی ارتفاع است که گستره جهانی بین مدارهای ۵۶ درجه جنوبی و ۶۰ درجه شمالی با حد تفکیک بالا را در بر می‌گیرد. مدل‌های ارتفاعی به صورت موزائیک‌هایی تنظیم شده که هرکدام از آن‌ها یک درجه از طول و یک درجه از عرض جغرافیایی را پوشش می‌دهند و به نام مختصات گوشه جنوب غربی آن نامیده می‌شود. تصویر مورد استفاده در این تحقیق با مشخصات SRTM1N31E048V3 بوده که شامل مدار ۳۱ درجه شمالی و نصف‌النهار ۴۸ درجه شرقی تا مدار ۳۲ درجه

8. Shuttle Radar Topography Mission
9. United States Geological Survey (USGS)

5. United States Army Corps of Engineers (USACE)
6. Step method
7. Implicit finite difference

مانینگ تعیین گردید. بدین ترتیب مقدار ضریب زبری مانینگ در ایستگاه‌های ملاتانی، اهواز و فارسیات به ترتیب ۰/۰۳۱، ۰/۰۵۰ و ۰/۰۲۶ در نظر گرفته شد. مختصات UTM ابتدا و انتهای هر محدوده از رودخانه کارون برای مشخص کردن ضرایب زبری مانینگ نیز در جدول (۲) ارائه شده است.

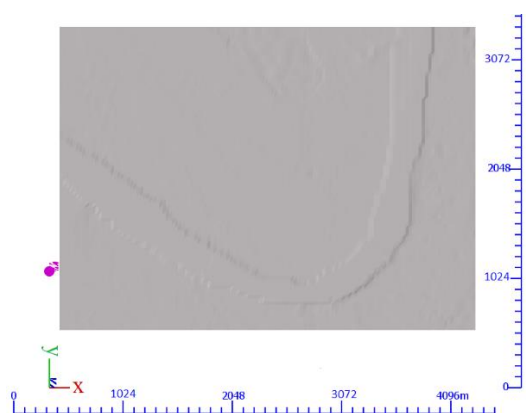
جهت تعیین ضریب زبری مانینگ^{۱۰} در محدوده مورد مطالعه از تحقیقات صورت گرفته توسط توکلی‌زاده (۱۳۸۲)؛ روشنفکر (۱۳۸۶)؛ ظهیری (۱۳۸۶) استفاده گردید. براین اساس محدوده طرح به ۴ قسمت مجزا با توجه به شرایط رودخانه تقسیم شده و برای هر قسمت بر اساس کالیبراسیون صورت گرفته، مقدار ضریب

جدول ۲- مختصات UTM تقسیم‌بندی رودخانه کارون بر اساس ضریب زبری مانینگ

مختصات ابتدای محدوده		مختصات انتهای محدوده		ضریب مانینگ	محدوده‌ها
طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی		
۲۹۸۷۴۴/۴۵	۳۴۹۶۳۳۷/۹۵	۲۹۷۶۵۴	۳۴۸۴۹۳۹/۱۹	۰/۰۳۱	محدوده (۱)
۲۹۷۶۵۴	۳۴۸۴۹۳۹/۱۹	۲۹۷۶۵۴	۳۴۷۳۵۳۷/۵	۰/۰۴	محدوده (۲)
۲۷۹۸۱۲/۲۷	۳۴۷۳۵۳۷/۵	۲۷۹۸۱۲/۲۷	۳۴۵۸۱۹۲/۳۵	۰/۰۵	محدوده (۳)
۲۷۴۲۶۶/۳۷	۳۴۵۸۱۹۲/۳۵	۲۶۲۸۲۸/۷	۳۴۵۱۱۵۱/۱۹	۰/۰۲۶	محدوده (۴)

در روابط فوق $\Psi_s^{measured}$ مقادیر مشاهداتی، $\Psi_s^{computed}$ مقادیر دبی و تراز سطح آب مشاهداتی پیش‌بینی شده، n تعداد داده‌ها و $\overline{\Psi_s^{measured}}$ میانگین مقادیر دبی و تراز سطح آب می‌باشد.

در این تحقیق از مدل‌سازی سه‌بعدی جهت بررسی نتایج مدل یک بعدی استفاده گردید. با توجه به زمان‌بر بودن مدل‌سازی سه بعدی، شبیه‌سازی تنها بر روی قوس ابتدای مسیر رودخانه صورت گرفت. جهت مدل‌سازی سه بعدی هیدرولیک جریان از نرم‌افزار FLOW-3D که به طور گسترده جهت شبیه‌سازی حرکت سیالات به کار می‌رود، استفاده گردید. جهت تهیه فایل سه‌بعدی قوس مورد نظر از نرم‌افزار QGIS Desktop 3.6.3 و جهت تهیه فایل مورد نیاز نرم‌افزار FLOW-3D از پلاگین DEMto3D استفاده گردید. نمایی از قوس مورد مطالعه در محیط FLOW-3D در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- قوس مورد استفاده جهت مدل‌سازی سه‌بعدی در محیط FLOW-3D

مدل‌های هیدرودینامیک جریان جهت شبیه‌سازی جریان رودخانه نیاز به شرایط مرزی در بالادست و پایین‌دست رودخانه دارند. در این تحقیق از شرایط غیرماندگار برای مدل‌سازی رودخانه کارون استفاده شد که مشخصات هیدرولیکی در بالادست (ایستگاه آب‌سنجی ملاتانی) هیدروگراف دبی جریان روزانه و در پایین‌دست (ایستگاه آب‌سنجی فارسیات) مقادیر اشل اندازه‌گیری شده به صورت روزانه به عنوان شرایط مرزی در نظر گرفته شدند. برای حل معادلات گام‌های محاسباتی به صورت ۵ دقیقه و گام زمانی برای خروجی گرفتن از هیدروگراف‌ها، نمایش داده‌ها روی نقشه و جزئیات دیگر به صورت ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد. در نهایت می‌توان نتایج حاصل از مدل‌سازی یک‌بعدی از جمله عمق، سرعت و ارتفاع سطح آب را در تمام نقاط مسیر رودخانه و در طول بازه زمانی برای هر نقطه از رودخانه مورد بررسی قرار داد. جهت مقایسه و ارزیابی کارایی مدل HEC-RAS از معیارهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و ضریب ناش-سانکلیف (NSE) جهت دبی جریان و تراز سطح آب در ایستگاه اهواز استفاده شده است (Wu و همکاران، ۲۰۱۷).

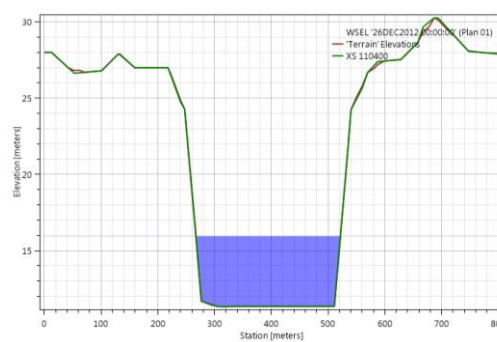
$$R^2 = \frac{\left[\sum (\Psi_s^{measured} - \overline{\Psi_s^{measured}}) (\Psi_s^{computed} - \overline{\Psi_s^{computed}}) \right]^2}{\sum (\Psi_s^{measured} - \overline{\Psi_s^{measured}})^2 \sum (\Psi_s^{computed} - \overline{\Psi_s^{computed}})^2} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (\Psi_s^{measured} - \Psi_s^{computed})^2} \quad (۴)$$

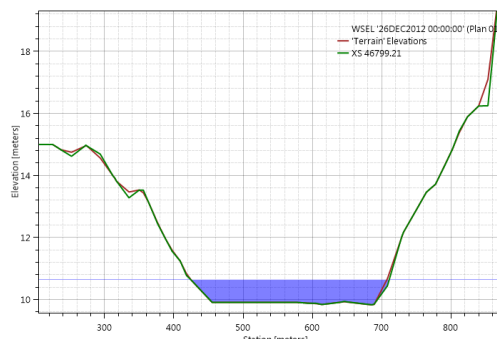
$$NSE = 1 - \frac{\sum (\Psi_s^{measured} - \Psi_s^{computed})^2}{\sum (\Psi_s^{measured} - \overline{\Psi_s^{measured}})^2} \quad (۵)$$

۳- نتایج و بحث

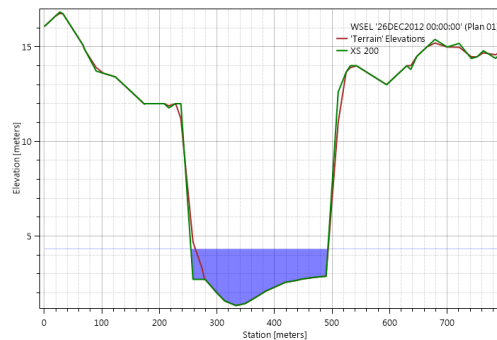
با استفاده از نقشه ارتفاعی و رابط کاربری RAS Mapper متغیرهای خروجی از جمله عمق جریان و توزیع سرعت می‌تواند در هر نقطه از مقاطع عرضی رودخانه نمایش داده شده و مورد بررسی قرار گیرند. از دیگر مزایای رابط کاربری RAS Mapper ایجاد لایه نقشه آنلاین می‌باشد به گونه‌ای که می‌تواند نقشه منطقه مورد مطالعه را به صورت آنلاین بر روی سرورهای مانند Google Map نمایش دهد. در شکل (۳) به ترتیب سطح آب در سه ایستگاه آب‌سنجی ملاثانی، اهواز و فارسیات برای آخرین روز مدل‌سازی (۳۱ شهریور سال ۱۳۹۴) نشان داده شده است. علاوه بر سطح آب، مقطع عرضی ایجاد شده بر روی نقشه توسط HEC-GeoRAS و مقطع عرضی نقشه ارتفاعی نیز مشخص شده‌اند.



(الف)



(ب)

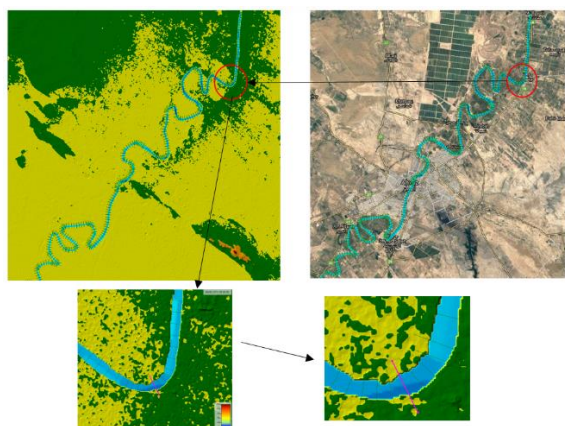


(ج)

شکل ۳- تراز سطح آب در: (الف) ایستگاه ملاثانی، (ب) ایستگاه اهواز، (ج) ایستگاه فارسیات

مقدار دبی جریان در این تاریخ برای ایستگاه اهواز به عنوان ایستگاه شاهد، مقدار $301/6$ مترمکعب بر ثانیه و تراز سطح آب نیز $10/73$ متر محاسبه شدند. مقادیر دبی جریان و سطح تراز آب برای این تاریخ به ترتیب 299 مترمکعب بر ثانیه و $10/75$ متر اندازه‌گیری شده‌اند.

شکل (۴) و (۵) به ترتیب بیانگر دبی جریان و تراز سطح آب محاسبه شده و اندازه‌گیری شده در ایستگاه آب‌سنجی اهواز هستند. همان‌گونه که در این دو شکل مشاهده می‌شود، انطباق مناسبی میان داده‌های مدل‌سازی و اندازه‌گیری شده وجود دارد. در جدول (۳) مقادیر R^2 ، NSE و $RMSE$ برای صحت‌سنجی مدل هیدرودینامیکی نشان داده شده است. هر چه مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد برازش بهتر بوده و نتایج مدل دارای دقت بالاتری می‌باشد. ضریب NSE نشان‌دهنده مقدار نسبی واریانس باقی‌مانده در مقایسه با واریانس داده‌های مشاهداتی است. اگر $NSE > 0/7$ باشد، نتایج مدل‌سازی خوب بوده و مقادیر $NSE < 0/7$ رضایت‌بخش بوده ولی $NSE < 0/4$ نشان‌دهنده دقت پایین مدل‌سازی خواهد بود. در تحقیق انجام شده مقدار NSE برای دبی جریان و سطح آب به ترتیب برابر با $0/946$ و $0/904$ محاسبه شد که این مقادیر نشان‌دهنده دقت بالای مدل‌سازی می‌باشند. همچنین جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$) برای دبی جریان و سطح آب به ترتیب برابر با $18/159$ و $0/06$ محاسبه شدند. این مقادیر در تحقیق ظهیری (۱۳۸۶) که از مدل FASTER استفاده نمود، برای دبی جریان $121/53$ و برای سطح آب $0/302$ به دست آمد. مدل FASTER یک مدل هیدرودینامیکی و کیفی بوده که اولین بار توسط کاشفی‌پور در مرکز تحقیقات آب دانشگاه کاردیف انگلستان توسعه پیدا کرد (ناصری و کاشفی‌پور، ۱۳۹۱). مقایسه نتایج مدل FASTER و HEC-RAS نشان می‌دهد که مقدار $RMSE$ جهت شبیه‌سازی دبی به میزان شش برابر و برای سطح آب به مقدار پنج برابر در HEC-RAS کاهش داشته است. این مقایسه نشان‌دهنده دقت بالای HEC-RAS در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان می‌باشد. در این تحقیق جهت شبیه‌سازی بستر رودخانه از محیط GIS استفاده گردید که می‌تواند تأثیر بالایی بر روی دقت نتایج داشته باشد. علاوه بر این نحوه حل معادلات و استفاده از متغیرهای متعدد توسط HEC-RAS نیز می‌تواند بر روی دقت جواب‌ها تأثیرگذار می‌باشد. HEC-RAS در حالت یک بعدی از تکنیک ارائه شده توسط Casulli (۲۰۰۸) استفاده می‌کند که بستر را به صورت سلول‌های محاسباتی در نظر گرفته و برای هر سلول اطلاعات مختلفی از قبیل شعاع هیدرولیکی و حجم و سطح مقطع جریان را در نظر می‌گیرد. این روش که با عنوان Sub-Gird Bathymetry نامیده می‌شود می‌تواند تأثیر بالایی بر روی دقت محاسبات صورت گرفته داشته باشد.



شکل ۶- نمایش رودخانه کارون و موقعیت قوس مورد مطالعه در رابط کاربری RAS Mapper



(الف)

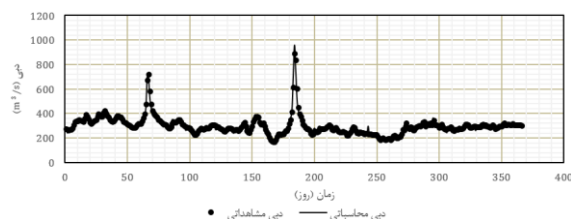


(ب)

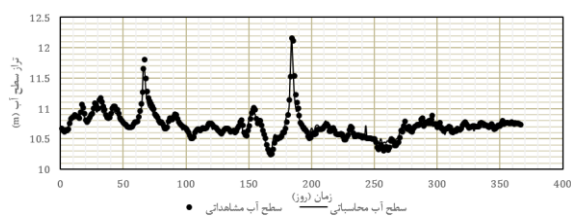


(ج)

شکل ۷- مقاطع عرضی مورد مطالعه در: (الف) ابتدای قوس، (ب) میانه قوس، (ج) انتهای قوس



شکل ۴- مقایسه دبی مشاهداتی و محاسبه شده توسط مدل در ایستگاه آب سنجی اهواز HEC-RAS در ایستگاه اهواز

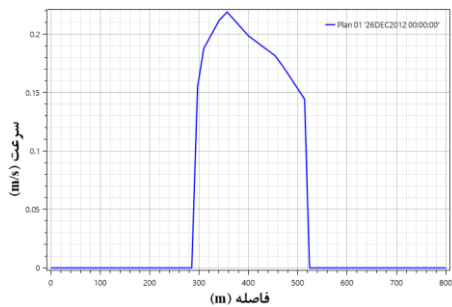


شکل ۵- مقایسه تراز سطح آب مشاهداتی و شبیه سازی شده در ایستگاه آب سنجی اهواز

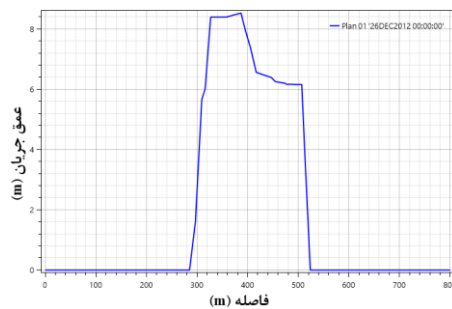
جدول ۳- محاسبه مقادیر خطا و همبستگی در مدل هیدرودینامیک

پارامتر هیدرولیکی	R ²	RMSE	NSE
سطح آب	۰/۹۴۳	۰/۰۶۰	۰/۹۰۴
دبی جریان	۰/۹۵۲	۱۸/۱۵۹	۰/۹۴۶

یکی از تفاوت‌های مهم این تحقیق با مطالعات صورت گرفته در زمینه مدل‌های یک بعدی، شبیه‌سازی توزیع سرعت در مقاطع عرضی است. با توجه به جریان‌های حلزونی در قوس‌ها، همواره بردارهای حداکثر سرعت در قوس بیرونی بوده و باعث فرسایش در قوس خارجی می‌گردند. در این تحقیق هر چند از مدل یک بعدی استفاده شده است ولی با توجه به ماهیت نقشه سه بعدی معرفی شده به مدل HEC-RAS، سرعت در مقاطع عرضی دارای مقادیر متفاوتی بوده و این امر می‌تواند در بررسی پدیده‌های فرسایش و رسوب گذاری در قسمت‌های مختلف رودخانه کمک شایانی نماید. بر همین اساس یکی از قوس‌های رودخانه در محدوده مطالعاتی انتخاب شده و نحوه توزیع سرعت و نیز عمق جریان در قسمت‌های مختلف مقطع عرضی مورد بررسی قرار گرفته است. موقعیت قوس انتخاب شده بر روی نقشه ارتفاعی و نیز بر روی نقشه آنالین منطقه در شکل (۶) نمایش داده شده است. قبل از قوس، بستر رودخانه دارای شرایط تقریباً یکنواخت است ولی با شروع قوس رودخانه، عمق بستر رودخانه در قوس بیرونی افزایش یافته و در قوس داخلی کاهش می‌یابد. بر همین اساس نتایج مدل سازی نشان می‌دهد که عمق جریان در قوس بیرونی نسبت به قوس داخلی بیشتر بوده که این امر نتیجه نیروی گریز از مرکز در قوس‌ها است. همین امر باعث می‌شود که بردارهای حداکثر سرعت در قوس بیرونی از شدت بیشتری برخوردار بوده و باعث به وجود آمدن جریان‌های ثانویه گردند.



(الف)



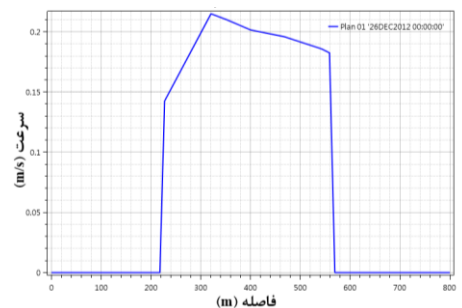
(ب)

شکل ۹- پروفیل: (الف) توزیع سرعت، (ب) عمق جریان برای مقطع عرضی برای مقطع عرضی میانه قوس

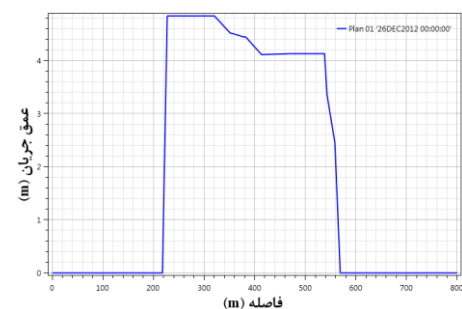
پس از عبور جریان از قوس، مسیر رودخانه دوباره به حالت اولیه خود بازگشته و برای مقطع عرضی که بعد از قوس در نظر گرفته شده است، جریان با فاصله گرفتن از جدارها دارای سرعت بیشتری شده و حداکثر آن $0/24$ متر بر ثانیه و در مرکز رودخانه محاسبه شده است. در شکل (۱۰) پروفیل‌های سرعت و عمق جریان برای مقطع عرضی بعد از قوس نشان داده شده‌اند. با بررسی تراز سطح آب رودخانه در مقاطع عرضی ابتدا، میانه و انتهای قوس و استناد به نمودارهای ارائه شده در شکل‌های (۸)، (۹) و (۱۰) مشاهده می‌شود که عمق جریان در قوس بیشتر از مسیرهای مستقیم می‌باشد. مقدار عمق جریان در قبل و بعد از قوس به ترتیب $4/84$ و $4/94$ متر می‌باشد در صورتی که مقدار عمق در قوس بیرونی $8/40$ متر و برای قوس داخلی $6/16$ متر محاسبه شده است. علاوه بر این با توجه به نمودارهای 16 ، 18 و 20 ، در مسیر مستقیم سرعت جریان در کناره‌ها نسبت به مرکز رودخانه از مقدار کم‌تری برخوردار می‌باشد. این در حالی است که در میانه قوس، بردارهای حداکثر سرعت در نزدیکی قوس بیرونی بوده که این امر می‌تواند فرسایش را در این ناحیه تشدید کند. نرم‌افزار HEC-RAS به صورت یک بعدی جریان را شبیه‌سازی نموده است و بر این اساس قادر به شبیه‌سازی جریان‌های حلزونی در قوس نمی‌باشد ولی با دقت نسبتاً مناسبی توانسته است هیدرولیک جریان در قوس را شبیه‌سازی نماید.

بدون استفاده از رابط کاربری RAS Mapper، مدل در حالت یک‌بعدی برای هر مقطع عرضی فقط یک مقدار ثابت برای سرعت و عمق جریان محاسبه می‌کند. در صورتی که با استفاده از رابط کاربری RAS Mapper و نقشه ارتفاعی منطقه، مقدار عمق و سرعت در تمام نقاط رودخانه شبیه‌سازی شده و به خوبی قابل بررسی می‌باشند. در شکل (۷) مقاطع عرضی قبل از قوس، میانه قوس و بعد از قوس نشان داده شده‌اند.

نتایج شبیه‌سازی توسط HEC-RAS نشان می‌دهد که در مقطع ابتدای قوس، تغییرات سطح آب در دو طرف قوس رودخانه نزدیک 70 سانتی‌متر می‌باشد. مقدار سرعت با فاصله گرفتن از جداره‌های رودخانه افزایش یافته به نحوی که بیش‌ترین سرعت در فاصله حدود 100 متری از قوس خارجی اتفاق افتاده و مقدار آن $0/22$ متر بر ثانیه محاسبه شده است. پروفیل سرعت و عمق جریان برای مقطع ابتدای قوس در شکل (۸) نمایش داده شده‌اند.



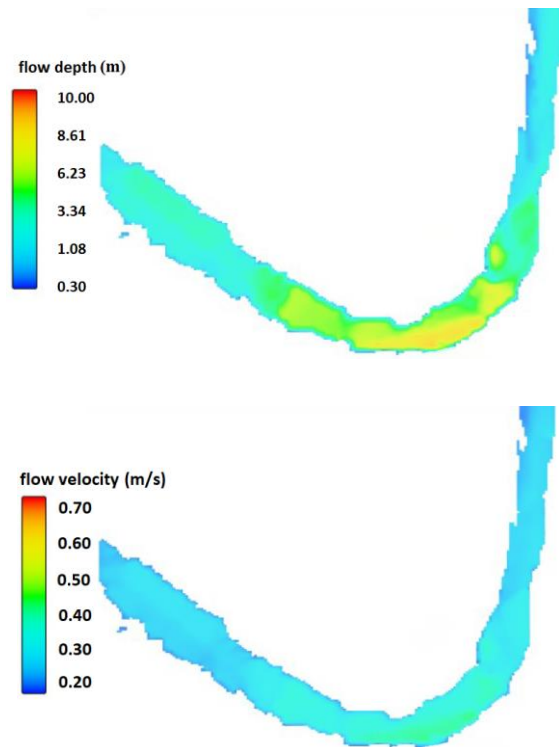
(الف)



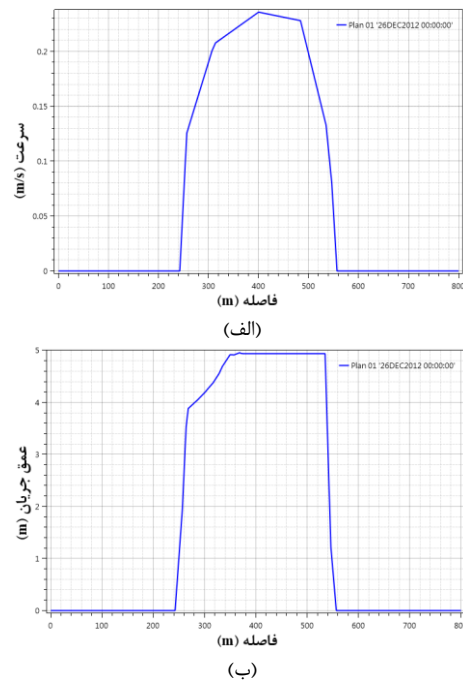
(ب)

شکل ۸- پروفیل: (الف) توزیع سرعت، (ب) عمق جریان برای مقطع عرضی ابتدای قوس

در میانه قوس پارامترهای هیدرولیکی نسبت به حرکت جریان در مسیر مستقیم دچار تغییرات شدیدی می‌شوند به گونه‌ای که عمق و سرعت جریان در قوس بیرونی دارای مقدار بسیار بیشتری نسبت به قوس داخلی است. در شکل (۹) مقادیر توزیع سرعت و عمق جریان در میانه قوس و تفاوت این مقادیر در قوس بیرونی و داخلی به خوبی قابل مشاهده می‌باشد. بیشترین مقدار سرعت در نزدیکی قوس بیرونی بیش از $0/21$ متر بر ثانیه و برای قوس داخلی مقدار $0/15$ متر بر ثانیه محاسبه شده است.



شکل ۱۱- نتایج عمق و سرعت جریان توسط FLOW-3D



شکل ۱۰- پروفیل: الف) توزیع سرعت، ب) عمق جریان برای مقطع عرضی برای مقطع عرضی پس از قوس

۴- نتیجه گیری

استفاده از مدل‌های عددی از متداول‌ترین روش‌های شبیه‌سازی جریان در رودخانه‌ها به حساب می‌آید. مدل‌های زیادی نیز در این زمینه تدوین و توسعه یافته‌اند. در این تحقیق از مدل یک بعدی HEC-RAS جهت شبیه‌سازی جریان در رودخانه کارون در حدفاصل ایستگاه‌های آب‌سنجی ملاثانی تا فارسیات استفاده گردید. مدل‌های یک‌بعدی به دلیل نیاز به زمان کوتاه جهت اجرا شدن و عدم پیچیدگی‌های مدل‌های دو و سه‌بعدی به طور گسترده در زمینه پروژه‌های مهندسی رودخانه به کار می‌روند. یکی از مهم‌ترین نقاط ضعف مدل‌سازی یک‌بعدی، عدم مدل‌سازی توزیع سرعت در عرض رودخانه می‌باشد که این امر به ویژه در قوس‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. جهت رفع این نقص از تصاویر ماهواره‌ای و محیط GIS جهت تهیه نقشه رقومی رودخانه کارون استفاده گردید. با داشتن نقشه رقومی و استفاده از محیط RAS Mapper می‌توان توزیع سرعت را در تمامی نقاط رودخانه شبیه‌سازی نمود. با داشتن توزیع سرعت می‌توان در مورد میزان آسیب‌پذیر بودن سواحل رودخانه‌ها با قطعیت بیشتری بحث نمود. علاوه بر این با استفاده از تکنیک ارائه شده، علاوه بر توزیع سرعت، عمق جریان نیز در عرض رودخانه با توجه به توپوگرافی سه‌بعدی، شبیه‌سازی گردید. جهت صحت‌سنجی نتایج مدل ارائه شده از تحلیل‌های آماری متنوعی استفاده گردید. ضریب ناش- ساتکلیف برای تراز سطح آب و دبی جریان در ایستگاه اهواز که به عنوان

جهت بررسی صحت نتایج HEC-RAS از نرم‌افزار FLOW-3D استفاده گردید. در شکل (۱۱) نتایج مربوط به عمق و سرعت جریان در قوس اشاره شده در شکل (۶) ارائه شده است. با توجه به شکل (۱۱) در مقطع ابتدای قوس تغییرات چندانی در عمق جریان مشاهده نمی‌شود. با ورود جریان به درون قوس تغییرات عمق جریان در مقطع عرضی رودخانه ایجاد شده که این تغییرات در وسط قوس به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در این ناحیه عمق جریان در قوس بیرونی و قوس داخلی به ترتیب حدود ۹ و ۶ متر محاسبه شده است. به مانند مدل یک‌بعدی، عمق جریان در ناحیه بیرونی قوس بیشتر از ناحیه داخلی محاسبه شده است با این تفاوت که مدل سه‌بعدی عمق جریان را بیشتر از مدل یک‌بعدی برآورد کرده است. در قسمت انتهایی قوس نیز عمق جریان در مقطع عرضی رودخانه حالت یکنواخت پیدا کرده و تفاوت چندانی میان عمق جریان در قسمت‌های مختلف مقطع عرضی رودخانه مشاهده نمی‌شود. براساس نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی توزیع سرعت در قوس می‌توان نتیجه گرفت که در مدل سه‌بعدی نیز در ابتدای قوس توزیع سرعت حالت نسبتاً یکنواختی داشته ولی با ورود جریان به قوس، توزیع سرعت حالت یکنواخت خود را از دست می‌دهد. در قسمت میانی قوس حداکثر سرعت جریان در نزدیکی قوس بیرونی اتفاق افتاده است که با نتایج به دست آمده توسط HEC-RAS همخوانی دارد. پس از عبور جریان از میانه قوس به تدریج توزیع سرعت حالت یکنواخت پیدا کرده و حداکثر سرعت به سمت مرکز رودخانه متمایل می‌گردد.

Ackerman CT, Jensen MR, Brunner GW, "Geospatial capabilities of HEC-RAS for model development and mapping", 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, 2010.

Andam KS, "Comparing Physical Habitat Conditions in Forested and Non-Forested Streams", PhD Thesis, University of Vermont, US, 2003.

Barr T, "Application of tools for hydraulic power plant presentation. 105-Upper Gotvand Hydroelectric Power Project Feasibility Study", Reservoir Operation Flood P, 2002.

Brunner G, "HEC-RAS river analysis system hydraulic reference manual, Version 5.0", US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 2016.

Casulli V, "A high-resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics", International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2008, 60 (4), 391-408.

Dey S, Saksena S, Merwade V, "Assessing the effect of different bathymetric models on hydraulic simulation of rivers in data sparse regions", Journal of Hydrology, 2019, 575, 838-851.

Ezz H, "Integrating GIS and HEC-RAS to model Assiut plateau runoff", The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2018, 21 (3), 219-227.

Johnson GD, Strickland MD, Buyok JP, Derby CE, Young DP, "Quantifying impacts to riparian wetlands associated with reduced flows along the Greybull River", Wyoming. Wetlands. 1999, 19 (1), 71-77.

Maidment DR, Tate EC, "Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS: Center for Research in Water Resources", University of Texas at Austin, US, 1999.

Wu B, Wang Z, Zhang Q, Shen N, Liu J, "Modelling sheet erosion on steep slopes in the loess region of China", Journal of Hydrology, 2017, 553, 549-558.

Zeľeňáková M, Fijko R, Labant S, Weiss E, Markovič G, Weiss R, "Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kružlov village, Slovakia", Journal of Cleaner Production, 2019, 212, 109-18.

ایستگاه شاهد در نظر گرفته شده بود، بیش از ۰/۹ تعیین گردید که نشان دهنده دقت بالای این روش در شبیه سازی جریان در رودخانه کارون می باشد.

۵- مراجع

پورحسین قادی م، حسینی م، سیفی زاده م، عمادی ع ر، "پهنه بندی سیلاب رودخانه تجن با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS"، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۹۱.

توکلی زاده ا ع، "مدل سازی عددی هیدرودینامیکی و کیفی سیستم های رودخانه ای"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۲.

حکمتی فرح، نظریها م، گیوه چی س، "ارزیابی خسارات کشاورزی ناشی از سیلاب با استفاده از مدل سازی HEC-RAS و ArcView"، علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۱ (۴)، ۱۳۸۸.

روشنفکر ع، "مدل سازی ترکیبی یک و دوبعدی دینامیک فلزات سنگین در سیستم های رودخانه ای"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۶.

سپهری و، نورانی و، اعلمی م، "پهنه بندی سیلاب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی"، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۸.

ظهوری ج، "مدل سازی یک بعدی انتقال رسوب در رودخانه کارون"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۶.

عزیزپناه ب، حکیمی د، غزنوی ا، "تعیین حدود بستر و حریم رودخانه با تلفیق نرم افزار GIS و مدل HEC-RAS"، دهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۹۴.

معاونت نظارت راهبردی وزارت نیرو، "راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبسکن های رودخانه ای"، نشریه شماره ۵۱۶، ۱۳۸۸.

ناصری م، کاشفی پور م، "استفاده از مدل عددی در حل معادلات جریان و برآورد آلاینده های کیفی رودخانه ها (مطالعه موردی: رودخانه کرخه)"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۱۳۹۱، ۴۲ (۳)، ۵۱-۶۰.

Ackerman C, "HEC-GeoRAS: An extension for support of HEC-RAS using ArcGIS. User's manual", US Army Corps of Engineers, Davis, California. 2005.

EXTENDED ABSTRACT

River Flow Simulation by Integrating Numerical Methods and Satellite Images

Javad Zahiri*, Mehran Ashnavar

Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran

Received: 20 April 2018; Accepted: 15 July 2019

Keywords:

River flow simulation, Numerical model, Satellite images, River bend, Nash-Sutcliffe coefficient.

1. Introduction

Numerical models have the ability to simulate river flow by using mathematical relations under certain initial and boundary conditions. Investigating the capability of different models for simulating flow characteristics in a river reach such as flow depth, velocity and shear stress in river banks are one of the basic needs in river engineering. However, from the practical point of view, the minimum need for field information, the small computation, and the degree of trust of the application of mathematical models in the conditions of natural rivers is of great importance. The aim of this study is to integrate GIS and HEC-GeoRAS with HEC-RAS model in order to simulate the hydraulic parameters of the Karun River in Khuzestan province.

2. Methodology

Data used in this research were provided by Khuzestan Water Power Authority (KWPA). This information includes Karun river cross sections, the flow discharge and the level of water at three stations of Mollasani, Ahvaz and Farsiat. The digital elevation model (DEM) used for this study was obtained at an accuracy of 30 meters from the United States Geological Survey (USGS). Due to the unavailability of the elevation of the Karun River bed, the river basin should be initially created in the GIS environment. For this purpose, the river cross sections were used in different parts of Karun River. These cross sections include 80,000 elevation points from the Mollasani to Farsiat station, which include river banks besides the river bed (Fig. 1).

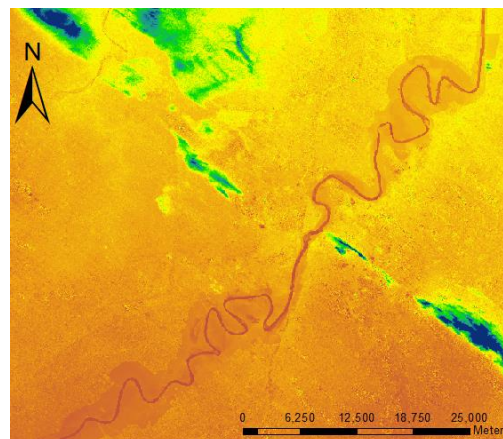


Fig. 1. Dem of Karun River

* Corresponding Author

E-mail addresses: j.zahiri@asnrukh.ac.ir (Javad Zahiri), ashna.mehran@gmail.com (Mehran Ashnavar).

In addition to HEC-RAS, HEC-GeoRAS and GIS have also been used in this study. The HEC-GeoRAS interface contains a simple set of macro tools that can be used to create geometric data and extract information such as cross-sectional information from the DEM using the GIS environment (Ackerman et al., 2010). The process of modeling the Karun River by the HEC-GeoRAS add-on is as follows:

1. Creating a TIN surface from raster data
2. Determine the river route from upstream to downstream using the “Stream Centerline” tool
3. Determine the floodplains by “Bank Lines” tool
4. Using Flow Path layer as a flood plains boundaries identifier
5. Considering 400 cross-sections by the XS Cutlines layer with distances of 300 meters in straight reaches and about 50 meters in bends
6. Using HEC-GeoRAS output to use in HEC-RAS model

3. Results and discussion

Using the Karun DEM and the RAS Mapper interface, output variables such as flow depth and velocity distribution can be displayed and examined at each point of the river cross section. Another benefit of the RAS Mapper user interface is to create an online map layer from the region so that it can display the map of the studied area online on servers like Google Map. Figs. 2 and 3 respectively represent the flow discharge and the water level simulated and measured at Ahvaz station. As seen in these two figures, there is a good fit between modeling and measured data.

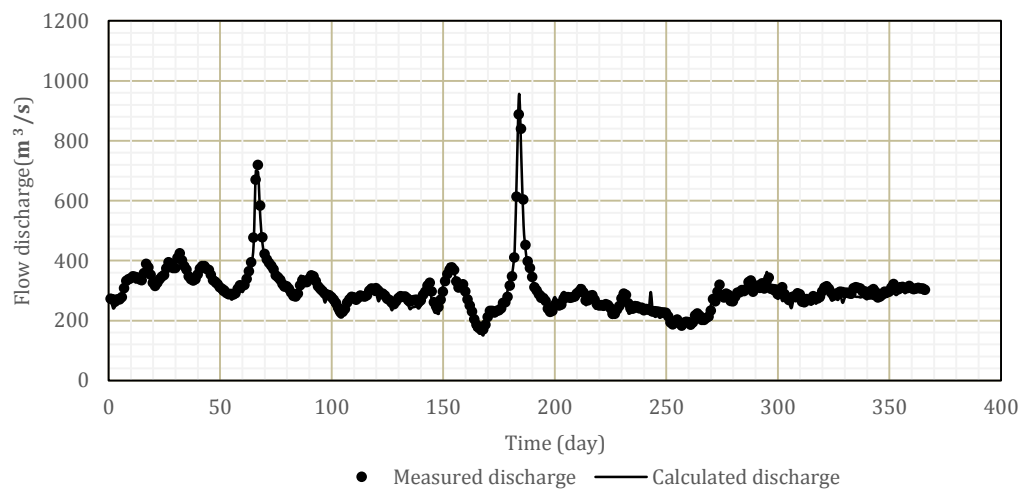


Fig. 2. Comparison of modeling and measured flow discharge in Ahvaz station

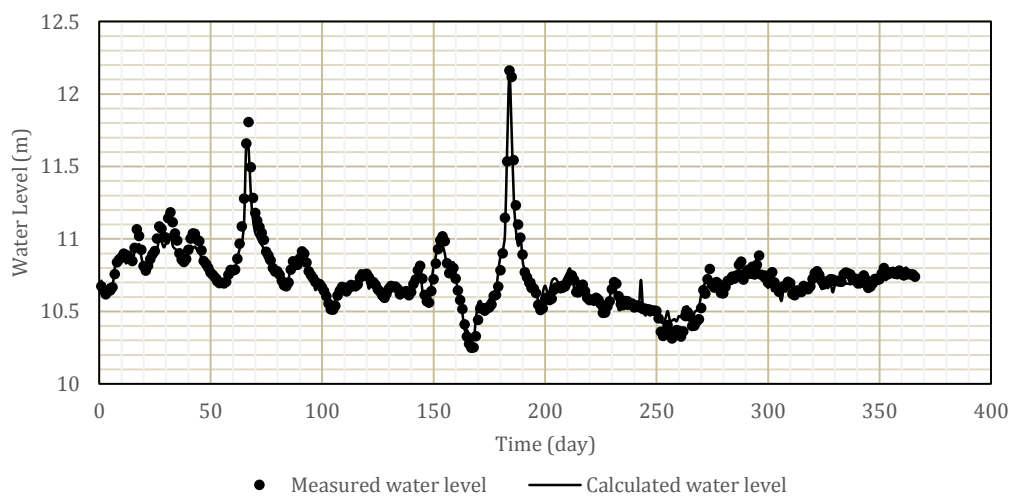


Fig. 3. Comparison of modeling and measured water level in Ahvaz station

The values of R^2 , NSE and RMSE are shown for verifying the hydrodynamic model, in Table 1. In this study, the NSE value for flow discharge and water level was calculated to be 0.946 and 0.904, respectively, which indicates the high accuracy of the modeling. Also, RMSE for flow rate and water level were calculated as 18.159 and 0.06 respectively. These values were obtained for flow rate of 123.13 and for water level 302.0, in Zahiri (2007). This comparison shows that the RMSE value for simulation of the discharge and water level decreased by 6 and 5 times, respectively, indicating that the model has simulated hydraulic parameters with high precision.

Table 1. Statistical analysis of hydrodynamic model

Hydraulic parameter	Statistical Parameter		
	R^2	RMSE	NSE
Water level	0.934	0.60	0.904
Flow discharge	0.952	18.159	0.946

Without using the RAS Mapper user interface, hydrodynamic models in one-dimensional mode calculate a constant value for flow velocity and depth for each cross section. By using the RAS Mapper interface and the region's elevation model for the entire river course, flow depth and velocity of the river are simulated and well evaluated. In the river bend, the hydraulic parameters are subject to extreme changes relative to the flow in the straight reach, so that the flow depth and velocity in the outer bend is much greater than the inside of the bend. In Fig. 4, the values of velocity distribution and flow depth in the middle of the bend demonstrated. The maximum velocity near the outer bend is more than 0.21 m/s and the inside of the bend is 0.15 m/s.

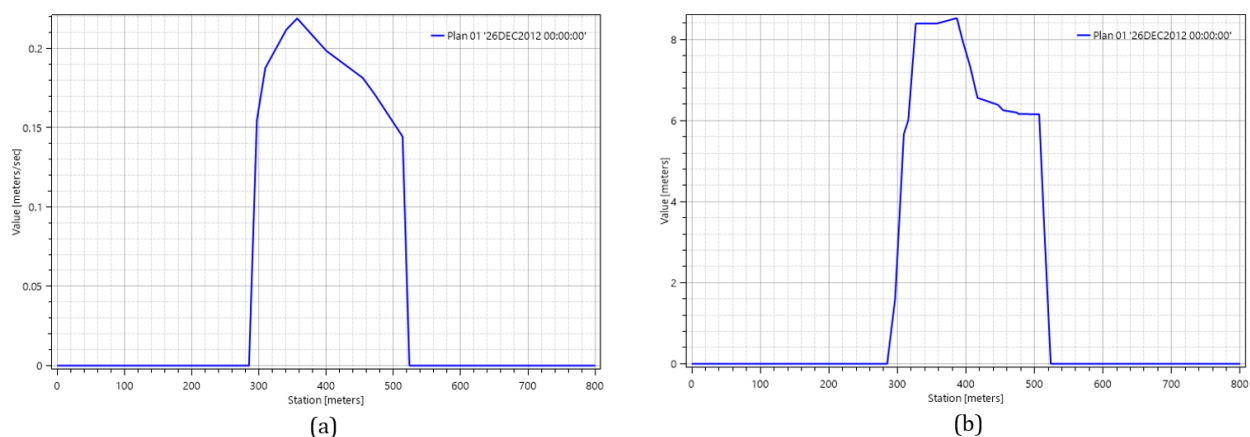


Fig. 4. Profile of (a) velocity distribution, (b) water level for mid-bend cross section

4. Conclusions

In this research, due to time consuming of two and three-dimensional models, a one-dimensional HEC-RAS model was used to simulate flow in the Karun River between the Mollasani to Farsiat hydrometric stations. One of the most important weaknesses in one dimensional modeling is the lack of modeling of the velocity distribution along the river, which is especially important in river bends. To overcome this defect, satellite imagery and GIS environment were used to prepare the Karun River digital elevation map. With the elevation digital map and the use of the RAS MAPPER environment, it is possible to simulate the velocity distribution in all parts of the river. Given the velocity distribution, it is possible to discuss the extent of the vulnerability of river banks, more precisely. In addition to velocity distribution, the flow depth was simulated along the river according to the three-dimensional topography. To validate the results of the proposed model, various statistical analysis were used. Nash-Sutcliff coefficient was determined to be more than 0.9 for water level and flow rate at Ahwaz station, which was considered as the control station. This value for Nash-Sutcliff coefficient indicates the high accuracy of this method in simulating flow pattern in the Karun River.

5. References

- Ackerman CT, Jensen MR, Brunner GW, "Geospatial capabilities of HEC-RAS for model development and mapping", 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, 2010.
- Zahiri J, "One-dimensional modeling of sediment transport in Karun River", MSc Thesis, Chamran University, Ahwaz, Iran, 2007.