

تحلیل عددی هیدرولیک جریان در یک رودخانه مخروط‌افکنه‌ای با مدل CCHE2D (مطالعه موردی: حدفاصل پل سودجان تا اورگان رودخانه دیمه)

افشین هنربخش^۱، محمد فتحی^{۲*} و محمد رستمی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۶)

چکیده

به‌طور کلی رودخانه‌ها در زمره شاخص‌ترین و قابل دسترس‌ترین منابع آبی در اختیار بشر هستند و به‌دلیل نقش مؤثر نیروی آب در ایجاد تغییرات در الگوی جریان و به‌تبع آن بر تغییرات مورفولوژی رودخانه، بررسی و تحلیل هیدرولیکی جریان در رودخانه حائز اهمیت و لازمه طرح‌های ساماندهی، کنترل سیلاب و سازه‌های انتقال آب پایین‌دست است. در این پژوهش، شرایط هیدرولیکی رودخانه دیمه با استفاده از مدل عددی CCHE2D در حدفاصل پل سودجان تا پل اورگان بررسی شده است. مدل CCHE2D، یک مدل ریاضی توانمند در شبیه‌سازی الگوی جریان و انتقال رسوب در شبکه‌های رودخانه‌ها و کانال‌های آزمایشگاهی است. این مدل عددی در سال ۱۹۹۸ میلادی، توسط مرکز ملی محاسبات مهندسی و علوم آب دانشگاه می‌سی‌سی‌پی (NCCHE) توسعه یافت و تا به‌حال در بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی مهندسی آب به‌کار گرفته شده است. در ابتدای پژوهش اطلاعات ورودی موردنیاز مدل، نظیر توپوگرافی، دبی و سرعت جریان آب فراهم و مدل عددی اجرا شد. در گام بعدی، نتایج حاصل از اجرای مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی از عمق و سرعت جریان آب، مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت و درنهایت با استخراج نتایج مدل و مقایسه آنها، توانمندی مدل CCHE2D در شبیه‌سازی الگوی جریان تأیید شد.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، رودخانه، صحت‌سنجی، مدل CCHE2D، مورفولوژی

۱. دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۲. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: fathiapadana@gmail.com

مقدمه

رودخانه‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و یا دخالت‌های انسانی دچار فرسایش یا کف‌کنی و نیز فرسایش کناره‌ای و جابه‌جایی‌های عرضی می‌شوند. تداوم رفتارهای فرسایشی رودخانه‌ها هر ساله موجب تخریب اراضی کشاورزی، تأسیسات ساحلی، پل‌ها و اماکن عمومی حاشیه آن می‌شود (۱۸). شناخت فرایند رودخانه‌های مخروط‌افکنه‌ای و الگوی حاکم بر هیدرولیک جریان و رسوب و همچنین تغییرات آنها در طول زمان یکی از مهم‌ترین بحث‌ها در مدیریت و استفاده بهینه از این رودخانه‌ها است. شریانی شدن رودخانه مخروط‌افکنه‌ای در بعضی موارد تحت تأثیر عوامل تحمیل شده بر آن است، به‌ویژه در ساختار آبرفتی مخروط‌افکنه‌ها که اغلب دست‌خوش فعالیت‌های شدید انسانی است. استفاده غیراصولی از رودخانه (مانند برداشت بی‌رویه شن و ماسه) می‌تواند باعث ایجاد تغییرات سریع در شکل رودخانه شده و آن را چند شاخه کند. واضح است چندشاخه‌ای شدن باعث افزایش عرض رودخانه می‌شود. با افزایش عرض، نواحی سیل‌گیر اطراف رودخانه بزرگ‌تر و موجب افزایش خسارت به ابنیه، خطوط انتقال نیرو و زمین‌های کشاورزی می‌شود (۴). در خصوص ویژگی‌های هیدرولیکی جریان آب و رسوب در مخروط‌افکنه‌ها می‌توان به عدم قطعیت مسیر جریان در مخروط‌افکنه، ته‌نشست ناگهانی رسوبات، فرسایش شدید و ناگهانی دیواره‌های رودخانه، رها شدن ناگهانی رسوبات در هنگام وقوع جریان واریزه‌ای و وجود انرژی کافی برای انتقال رسوبات درشت در جریان‌های کم‌عمق اشاره کرد. مطالعه انواع جریان در مخروط‌افکنه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا برای مدل‌سازی جریان و تعیین آن در بخش‌های مختلف مخروط‌افکنه و پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر در مخروط‌افکنه‌ها در ابتدا باید نوع و ویژگی‌های هیدرولیکی جریان مشخص شود (۲). تحلیل جریان در بخش آبراهه‌ای و در نزدیکی مخروط‌افکنه‌ها با روش یک‌بعدی غیردائم انجام می‌شود و از محلی که جریان

منشعب می‌شود. تحلیل جریان که اغلب کم‌عمق است با روش دوبعدی انجام می‌شود. اما مطالعه ویژگی‌های جریان‌های ورقه‌ای که در سطح وسیع پخش می‌شوند، بسیار پیچیده است به‌طوری‌که بنا به گفته سایمون تا سال ۱۹۸۸ هیچ روشی برای تحلیل جریان ورقه‌ای ارائه نشده بود. عموماً جریان ورقه‌ای با استفاده از معادلات جریان دوبعدی به‌دست می‌آید. بنابراین در هر قسمت از مخروط‌افکنه تحلیل جریان می‌بایست با روش متناسب با نوع جریان انجام شود (۲). از این‌رو به‌منظور تحلیل هیدرولیک جریان در مخروط‌افکنه‌ها یکی از ابزارهای مهم، مدل‌های ریاضی است. از آنجایی که ساختار جریان‌های ثانویه سه‌بعدی است، بنابراین شبیه‌سازی آنها به‌ویژه در رودخانه‌ها نیاز به مدل‌هایی دارد که الگوی جریان آب و حمل رسوب در کناره‌ها و کف رودخانه را به‌صورت سه‌بعدی بیان کند. از آنجایی که استفاده از یک مدل سه‌بعدی به‌دلیل دخالت فرسایش کناره‌ای و پارامترهای دخیل (مؤثر) در آن نسبتاً هزینه‌بر است، برخی از پژوهشگران مدل‌های دوبعدی را پیشنهاد می‌کنند که توانایی مقابله با یک مدل سه‌بعدی را از نظر کارایی داشته باشد. بدیهی است که تنها مدل‌های دوبعدی می‌توانند تا حدودی کارایی یک مدل سه‌بعدی را در این مقوله داشته باشند که به نحوی قادر به شبیه‌سازی اثر جریان‌های ثانویه باشند (۶). با توجه به اهمیت بررسی هیدرولیک جریان در رودخانه‌های طبیعی به‌ویژه مخروط‌افکنه‌ای، در این پژوهش با کمک مدل دوبعدی CCHE2D (که توسط مرکز علوم رایانه‌ای و مهندسی آب دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا توسعه یافته است)، به مطالعه هیدرولیک جریان، شامل جریان‌های ثانویه و توزیع سرعت طولی و عرضی در پلان و مقطع عرضی، در یک بازه مخروط‌افکنه‌ای از رودخانه دیمه پرداخته شد. برای تحلیل فرایندهای هیدرودینامیک جریان در رودخانه، مطالعات متعددی انجام شده است. برخی از این مطالعات در غالب مدل‌های عددی به‌شرح زیر است:

واقع شده است پرداختند. آنها از نتایج مدل یک‌بعدی و دوبعدی MIKE FLOOD برای برآورد خسارت در محیط ARC GIS استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش دوره بازگشت سیل میزان نرخ تلفات صعودی می‌شود و پیشنهاد دادند که راهکاری مناسب برای کاهش خسارت سیل در نظر گرفته شود و تا حد ممکن از توسعه مخروطافکنه‌ها اجتناب شود و از آنها برای کاربری‌های غیرمسکونی همچون پارک، فضای تفریحی و کشاورزی استفاده شود.

هنربخش، فتحی و همکاران در سال (۷)، از مدل عددی دوبعدی CCHE2D برای شبیه‌سازی الگوی جریان در بازه‌ای از پیچان رودی طبیعی خشکه رود فارسان، حدفاصل پل عیسی‌آباد تا کارخانه شن‌شویی گوجان در استان چهارمحال و بختیاری، استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل، قابلیت مطلوبی در پیش‌بینی الگوی جریان در رودخانه‌های پیچان‌رودی داراست.

خسروی (۱۵)، از مدل عددی دوبعدی CCHE2D برای شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب در بازه‌ای از پیچان‌رودی طبیعی، حدفاصل سد تا پل شهرستان میناب - استان هرمزگان، پرداخت و به این نتیجه رسید که مدل از قابلیت مناسبی برای پیش‌بینی مشخصات جریان در رودخانه‌های پیچان‌رودی برخوردار است.

جیا و همکاران (۱۳)، به شبیه‌سازی عددی جریان، حمل رسوب، تغییرات توپوگرافی بستر و سازه‌های رودخانه‌ای، در رودخانه آرکانزاس با مدل CCHE2D پرداختند. نتایج نشان داد، وجود دایک سبب افزایش سرعت و کاهش مقدار رسوبگذاری می‌شود.

جیا و ونگ (۱۴)، یک مدل دوبعدی هیدرودینامیک و حمل رسوب انتگرال‌گیری‌شده از عمق را برای مطالعه تغییرات بستر و جریان در کانال‌های روباز توسعه دادند. این مدل CCHE2D نام داشت که دارای سه مؤلفه حالت جریان دوبعدی عمق میانگین، حالت حمل بارکف و حالت شبیه‌سازی تراز بستر است. در این مدل، معادلات گشتاور دوبعدی انتگرال‌گیری‌شده

وفایی‌منش و خرسندی (۲۹)، در پژوهشی با عنوان تحلیل یک‌بعدی جریان در رودخانه‌های شریانی و تعیین بستر و حریم آنها به بررسی موضوع در رودخانه مخروطافکنه‌ای رودان هرمزگان توسط نرم‌افزار HEC-RAS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این مدل در محاسبات هیدرولیکی رودخانه‌های شریانی که دارای بازه وسیعی هستند، نمی‌تواند مسیر اصلی جریان را تشخیص دهد و برای رفع این مشکل که ناشی از یک‌بعدی بودن مدل است، باید گوره (سیل‌بند)‌هایی با ارتفاع از سطح زمین در برنامه HEC-RAS تعریف شود و مناطقی که در مسیر جریان قرار ندارند، حذف شوند.

نیک‌سخن و همکاران (۲۲)، به بررسی عددی الگوی پخش سیلاب در مخروطافکنه رودخانه جاماش استان هرمزگان پرداخته و با استفاده از مدل یک‌بعدی HEC-RAS و مدل یک‌بعدی - دوبعدی MIKE FLOOD و در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر سرعت و عمق جریان، مزایا و معایب هر یک را نسبت به دیگری سنجیدند. نتایج به‌دست آمده از مدل MIKE FLOOD در محیط‌های سیلاب‌دستی و مخروطافکنه‌ای که پخش جریان وجود دارد از دقت بالاتری نسبت به مدل HEC-RAS برخوردار بوده و به نسبت ارجحیت دارد.

رستمی و همکاران (۲۷)، در پژوهشی به بررسی تأثیر عدم طراحی اصولی سازه حفاظتی بر تغییر الگوی توزیع جریان رودخانه حبله‌رود در محدوده مخروطافکنه گرمسار پرداختند و با استفاده از مدل‌سازی یک‌بعدی و دوبعدی توسط نرم‌افزارهای تحلیل جریان HEC-RAS و FLUENET به این نتیجه رسیدند که عدم طراحی اصولی سازه حفاظتی کناره رودخانه، بدون در نظر گرفتن شرایط حاکم بر رودخانه و حساسیت‌های رودخانه‌های جاری در مخروطافکنه‌ها، موجب تغییر الگوی توزیع جریان در شاخه‌های فرعی و ایجاد مشکلات متعدد در پایین‌دست محدوده مطالعاتی شده است.

نیکرو و همکاران (۲۱)، به بررسی میزان خسارات جانی ناشی از سیلاب در محدوده حوضه آبخیز رودخانه مخروطافکنه ایچاماش که در فاصله حدود ۵۰ کیلومتری شمال بندرعباس

از عمق برای جریان آشفته در یک سیستم مختصات کارترین به کار می‌رود. با توجه به شرایط مرزی، این مدل، سه نوع مرز را استفاده می‌کند که عبارت‌اند از: ورودی، خروجی و دیواره‌های جامد. در مدل CCHE2D، تغییرات تراز بستر به علت حمل بارکف و اثر جریان ثانویه روی فرایند حمل در کانال‌های پیچان محاسبه می‌شود. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که این مدل را می‌توان برای مطالعه جریان‌های پایدار، ناپایدار و آشفته و همچنین فرایندهای حمل رسوب و تغییرات مورفولوژیکی کانال‌های آبرفتی به کار برد. در پایان نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی فرایندهای مورفولوژیکی در یک فلوم آزمایشگاهی با شکل سینوسی (کانال پیچان) و همچنین شبیه‌سازی جریان در یک کانال طبیعی با دو دایک آب‌شکن نشان داد که مدل CCHE2D، توانایی شبیه‌سازی تغییرات بستر در کانال‌های پیچان و همچنین شبیه‌سازی جریان ناپایدار در کانال‌های طبیعی با توپوگرافی نامنظم و در کانال‌های آزمایشگاهی با ساختارهای هیدرولیکی مشابه موارد طبیعی را دارد.

رینالدی و همکاران (۲۵)، در پژوهشی به شبیه‌سازی هیدرودینامیکی و فرسایش کناری در پیچان رود با انحنا بالا و بستر درشت‌دانه رودخانه سسینادر مرکز ایتالیا پرداختند، نتایج دو مکانیسم را معرفی می‌کند که نشان می‌دهد چگونه بیشترین فرسایش کناری در نقطه اوج دبی رخ می‌دهد. در ابتدا پیچان رود با انحنا بالا بررسی شده است که سرعت نهایی جریان در قوس خارجی با افزایش دبی جریان و فرسایش بستر و کاهش مقاومت جداره افزایش پیدا می‌کند، سپس شکست قسمت کناری رودخانه به واسطه ترکیب نفوذ آب و فشار هیدرواستاتیک محصور شده که از دوره‌های بین افزایش و کاهش مراحل رخداد دبی‌های پیک ناشی می‌شود، به وجود می‌آید.

وو و ونگ (۳۰)، در مطالعات خود به شبیه‌سازی جریان و انتقال رسوب در پایین‌دست رودخانه زرد در کشور چین پرداختند؛ همچنین با استفاده از مدل‌های عددی دوبعدی، مدل‌های آشفتگی دومعادله‌ای $k-\epsilon$ را با مدل‌های

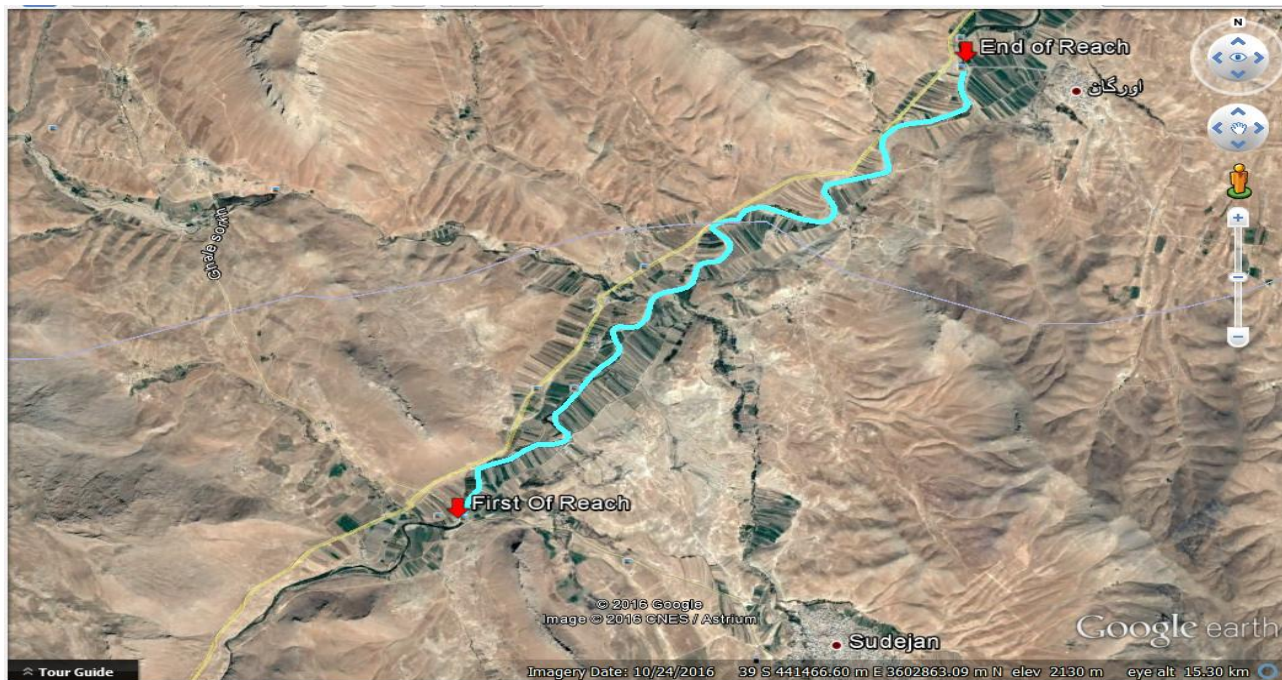
صفرمعادله‌ای مقایسه کردند. بر اساس مقایسه، این نتیجه حاصل شد که تمام مدل‌های آشفتگی نتایج واقعی (نزدیک) در مورد جریان‌های ساده ارائه می‌کنند؛ اما در خصوص جریان‌های پیچیده، سه مدل آشفتگی $k-\epsilon$ (استاندارد، غیرتعدادی و RNG) نتایج واقعی‌تر را نسبت به مدل‌های صفرمعادله‌ای نشان می‌دهند. همچنین براساس این پژوهش در میان مدل‌های دومعادله‌ای $k-\epsilon$ ، مدل‌های غیرتعدادی و RNG در مورد جریان‌های چرخشی، نتایج بهتری ارائه می‌کنند.

کارماکر و دوتا (۱۱)، به مدل‌سازی ترکیبی فرسایش کناری رودخانه در رودخانه براهماپوترا هند آبرفتی پرداختند. میزان فرسایش کناری فصلی با اندازه‌گیری میدانی مقایسه شده است. نتایج نشان دادند که مدل تحلیلی حاضر برای پیش‌بینی میزان فرسایش فصلی با ترکیب کناره و خم رودخانه به خوبی کار می‌کند.

فتحی و هنربخش (۷)، برای شبیه‌سازی مورفولوژیک فرسایش کناری در رودخانه‌های طبیعی از مدل عددی دوبعدی CCHE2D در رودخانه فارسان که دارای بار رسوبی و تغییرات زیاد است استفاده کردند. نتایج به دست آمده از مدل و داده‌ها قابلیت مدل CCHE2D برای شبیه‌سازی فرسایش کناری در این رودخانه را نشان داد.

کمان‌بدست و همکاران (۱۱)، برای برآورد رسوب رودخانه کرخه با استفاده از اثر پارامترهایی مانند سرعت، تنش برشی، مشخصات سطح آب در دو محدوده پل و قوس رودخانه به بررسی الگوی ناپایدار جریان رودخانه کرخه و همچنین تغییرات ارتفاع بستر انتقال و رسوب رودخانه با دو رویداد سیل ۵۰ ساله و بیشتر از ۲۵ سال با استفاده از مدل CCHE2D پرداختند و به این نتیجه رسیدند که سرعت، عدد فرود و تنش برشی برای سیل ۵۰ ساله بیش‌تر از سیل ۲۵ ساله است؛ همچنین مشخص شد که رسوب معلق، بده بار بستر، ته‌نشست رسوب و فرسایش برای سیل ۵۰ ساله بیشتر از سیل ۲۵ ساله است.

در مجموع می‌توان گفت که، غالب پژوهش‌های انجام شده در منطقه بیشتر به مورفودینامیک رودخانه و تغییرات مسیر آن در



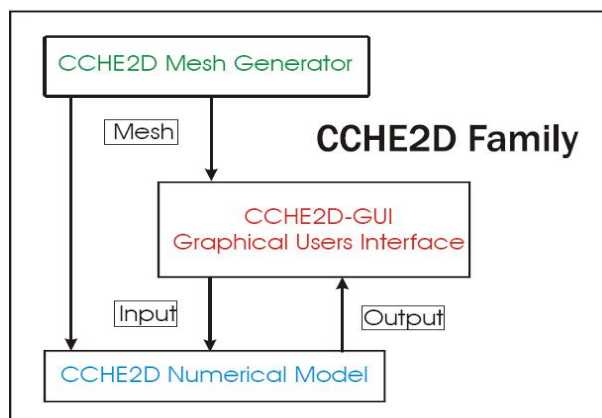
شکل ۱. نمایی از موقعیت بازه مکانی مورد مطالعه

۲۰۰۵-۲۰۰۴) نشان می‌دهد. این رودخانه در نزدیکی شهر چهلگرد و قبل از الحاق رودخانه‌های فرعی آبخره و خروجی تونل‌های اول، دوم و سوم به آن، وارد مخروطافکنه‌های متعددی شده و شریانی می‌شود. عرض رودخانه در این مخروطافکنه از حدود ۱۰۰ متر در ابتدای این بازه به حدود ۲۵۰ متر در بازه میانی آن رسیده و مجدداً در انتهای بازه به شرایط طبیعی بازمی‌گردد (شکل ۱). بارگذاری‌های انجام گرفته در محدوده تحت تأثیر سیستم آبرفتی؛ مانند سکونت‌گاه‌ها، اراضی کشاورزی و دیگر بارگذاری‌های اقتصادی با توجه به نوع و نحوه کاربری می‌تواند تعادل سیستم رودخانه و محدوده رسوبی را در راستای پایداری و ناپایداری متأثر سازد. تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری نامناسب و تجاوز به حریم و بستر شبکه جریان‌های اصلی و فرعی نه تنها آسیب‌پذیری محیط را تشدید کرده بلکه موجب ناپایداری منابع مانند کاهش دبی پایه، افزایش سیلاب‌ها و تشدید فرسایش را به دنبال خواهد داشت. بدین منظور شبیه‌سازی ریاضی رفتار و الگوی جریان، تغییرات بستر و کناره‌ها امری کاملاً ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

اثر تغییرات سطح اساس آب‌های آزاد و فعالیت‌های انسانی توجه داشته‌اند. اما در این پژوهش، تغییر مورفودینامیک رودخانه در ارتباط با تغییر در شرایط جریان در محیط‌های کم‌انرژی و پرانرژی و نقش آن در تغییر ساختار فضایی و ایجاد مخاطرات طبیعی بررسی می‌شود. قابل ذکر است که شبیه‌سازی و تحلیل پارامترهای هیدرولیک جریان سیلابی و به تبع آن بررسی روند تغییرات مورفولوژی در رودخانه مخروطافکنه‌ای و منطقه مورد مطالعه توسط مدلی دوبعدی جزء تکنیک‌های جدید است.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی در این پژوهش، بازه‌ای از رودخانه دیمه از شاخه‌های بالادست رودخانه زاینده‌رود است که از خروجی کانال‌های انتقال آب ۱، ۲ و ۳ کوه‌رنگ در شهر اورگان شروع شده و تا محل اتصال رودخانه پلاسجان در بالادست دریاچه و سد زاینده‌رود قرار دارد. رودخانه دیمه از سرشاخه‌های اصلی سیلابی رودخانه زاینده‌رود و پرآب بالادست سد زاینده‌رود در استان چهارمحال و بختیاری است. سیلاب‌های ثبت شده از این رودخانه ارقام سیلابی آن را تا ۸۵۳ مترمکعب در ثانیه (سال



شکل ۲. روند شبیه‌سازی مدل CCHE2D

روش پژوهش

مدل CCHE2D

اصولاً CCHE2D یک مدل عددی دوبعدی برای شبیه‌سازی جریان ماندگار و غیرماندگار آشفته و همچنین انتقال رسوب در کانال‌های باز است که در مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی آب (NCHE) دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا تهیه و توسعه یافته است. برای ساخت هندسه میدان و شبکه‌بندی قلمرو مطالعاتی از یک نرم‌افزار مجزای پیش‌پردازنده با عنوان CCHE-MESH بهره می‌برد و حل میدان جریان و فرایند انتقال رسوب و همچنین مشاهده نتایج در محیط گرافیکی نرم‌افزار، با عنوان CCHE-GUI انجام می‌شود. شبیه‌سازی جریان آب براساس حل معادلات متوسط عمقی ناویر - استوکس است. تنش برشی متلاطم با استفاده از تخمین معادلات بوزینسک محاسبه می‌شود و برای محاسبه لزجت گردابه‌ای متلاطم از سه مدل آشفتگی مختلف می‌توان استفاده کرد. مدل شبیه‌ساز پدیده انتقال رسوب این نرم‌افزار، توانایی مدل‌سازی انتقال هر دو فاز معلق و بار بستر را در تمام حالات غیرتعادلی، غیریکنواخت و رسوب چسبنده یا غیرچسبنده دارد. همچنین این مدل، تأثیر جریان‌های ثانویه بر نحوه انتقال ذرات رسوب بار بستر در بازه‌های پیچان‌رود را در نظر می‌گیرد. روند به‌کار گرفته شده در مدل CCHE2D به‌طور نمادین در شکل شماره ۲ نشان

داده شده است (۳۰).

معادلات اصلی که این مدل براساس آنها پایه‌گذاری شده است را می‌توان به‌صورت زیر ارائه کرد:

الف) معادله پیوستگی:

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

ب) معادله مومنتم:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{cor} v \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{cor} u \quad (3)$$

در معادلات فوق: u و v به‌ترتیب بیانگر مؤلفه‌های سرعت متوسط‌گیری شده در عمق در راستای x و y (برحسب متر بر ثانیه)، t زمان (ثانیه)، g شتاب جاذبه، Z بیانگر تراز ارتفاعی سطح آب (متر)، ρ وزن مخصوص آب (نیوتن بر متر مکعب)، h عمق جریان (متر) و f_{cor} ضریب مربوط به شتاب کوریولیس، τ_{xx} ، τ_{xy} ، τ_{yx} و τ_{yy} تنش‌های رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق (بی‌بعد) و τ_{bx} و τ_{by} تنش‌های برشی بستر در راستای x و y (نیوتن بر متر مربع) هستند.

ج) معادله آشفتگی: برای شبیه‌سازی اثر آشفتگی بر الگوی



شکل ۳. نمایی از مقاطع اندازه‌گیری پارامترهای جریان بازه مورد مطالعه رودخانه دیمه

جدول ۱. مشخصات دستگاه سرعت‌سنج صوتی Easy QTM

کاربرد	حداکثر سرعت قابل اندازه‌گیری	دامنه اندازه‌گیری عمق جریان	دامنه گام زمانی اندازه‌گیری
سنجش سرعت و عمق جریان	۱۰ m/s	۰/۱۰-۱۵ m	۱- ۱۲۰ s

دستگاه سرعت‌سنج صوتی Easy QTM و شاخص اندازه‌گیری استفاده شد. در جدول (۱) مشخصات سرعت‌سنج مذکور آورده شده است. برای اندازه‌گیری دقیق سرعت جریان، دستگاه سرعت‌سنج دوبعدی کاملاً داخل جریان آب قرار گرفته و برای این هدف، یک ثبات (مشابه پل تلفریک) طراحی و ساخته و سپس دستگاه روی آن نصب شد تا در هر مرحله قرائت، دستگاه کاملاً ساکن و بدون لرزش باشد و همچنین قابلیت جابه‌جایی در عرض، برای برداشت داده‌های جریان از ساحل سمت چپ تا راست و هم قابلیت جابه‌جایی در عمق رودخانه را برای برداشت جریان از سطح آب تا کف بستر به فواصل ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ از عمق، توأمان داشته باشد. نظر به اینکه در جریان‌های سیلابی مقدار سرعت در نقاط مختلف عرض رودخانه و همچنین در اعماق آب متغیر و همراه با تلاطم است، سرعت متوسط در طول هر مقطع (با توجه به عرض هر مقطع) حداقل در ۶ نقطه و حداکثر ۱۰ نقطه با فواصل مساوی از عمق آب، اندازه‌گیری شد.

جریان و بستن سیستم معادلات حاکم، مدل CCHE2D، از سه مدل لزجت گردابه‌ای، مدل طول اختلاط و مدل دومعادله‌ای $k-\epsilon$ بهره می‌برد.

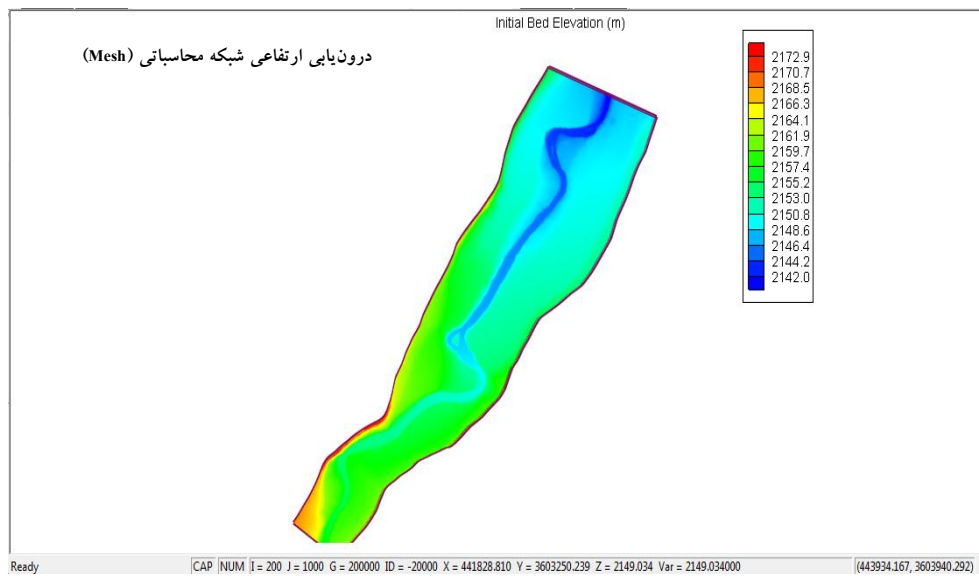
اندازه‌گیری داده‌های میدانی و آزمایشگاهی موردنیاز مدل CCHE2D

نقشه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای جریان بازه مورد مطالعه

در گام نخست این پژوهش، به نقشه‌برداری بازه انتخابی از رودخانه دیمه به طول ۱۲ کیلومتر با استفاده از دوربین نقشه‌برداری توتال استیشن دیجیتال پرداخته شد. همان‌طورکه در شکل (۳) مشهود است، در شش مقطع عرضی از مقاطع نقشه‌برداری شده به اندازه‌گیری پارامترهای جریان پرداخته شد و بیشترین تأکید روی محدوده‌های پشته رسوبی و قوس‌های متوالی رودخانه بود تا بتوان تأثیر جریان‌های ثانویه و نیروهای گریز از مرکز را بر فرسایش کناره‌ها و کف بستر رودخانه بررسی کرد. برای اندازه‌گیری سرعت جریان و عمق آب از

جدول ۲. مقادیر پارامترهای سرعت، عمق و دبی جریان اندازه‌گیری شده در مقاطع مختلف بازه مورد مطالعه

مقاطع اندازه‌گیری شده	سرعت در عمق ۰/۲ (m/s)	سرعت در عمق ۰/۴ (m/s)	سرعت در عمق ۰/۶ (m/s)	سرعت در عمق ۰/۸ (m/s)	سرعت متوسط (m/s)	عمق جریان (m)	دبی جریان (m ³ /s)
مقطع (B)	۱/۶	۱/۲۷	۰/۹	۰/۸۵	۱/۱۸	۱/۰۲	۱۸/۲
مقطع (C)	۱/۶۴	۱/۳۸	۱/۱۵	۰/۹۳	۱/۲۵	۱/۱۴	۱۸/۲
مقطع (D)	۱/۷	۱/۴	۱/۲۱	۰/۸	۱/۲۸	۱/۲۷	۱۸/۲
مقطع (E)	۱/۶۷	۱/۲۶	۱/۱۸	۰/۸۳	۱/۳۶	۱/۳۵	۱۸/۲
مقطع (A) ورودی	۱/۵۵	۱/۲۹	۱/۰۹	۰/۷۸	۱/۱۹	۱/۰۳	۱۸/۲
مقطع (F) خروجی	۱/۸۳	۱/۵۵	۱/۳۲	۱/۰۵	۱/۴۳	۱/۴۸	۱۸/۲



شکل ۴. نمای درونی ارتفاعی شبکه محاسباتی (Mesh) برای بازه مورد مطالعه در رودخانه دیمه

رودخانه دیمه اندازه‌گیری شده است.

تولید شبکه محاسباتی در مدل عددی CCHE2D

همان‌طور که عنوان شد در مدل CCHE2D برای ساخت هندسه میدان و شبکه‌بندی قلمرو مطالعاتی از یک نرم‌افزار مجزای پیش‌پردازنده با عنوان CCHE-MESH، استفاده می‌شود. پس از ورود داده‌های هندسی حاصل از نقشه‌برداری به محیط نرم‌افزار و تعیین مرزها، محدوده موردنظر با استفاده از روش‌های جبری و محاسباتی شبکه‌بندی شد. ابعاد بهینه شبکه محاسباتی

شایان ذکر است با توجه به اینکه مدل دوبعدی است و از میانگین عمق بهره می‌برد، به منظور واسنجی و صحت‌سنجی در بخش اندازه‌گیری نیز با استفاده از روش پنج‌نقطه‌ای، از نقاط مختلف در عرض هر مقطع در راستای عمقی میانگین گرفته و در محاسبات از سرعت میانگین مقطع عرضی استفاده شد.

همان‌طور که در جدول (۲)، مشاهده می‌شود برای جریان بازه مورد مطالعه، پارامترهایی از قبیل سرعت، دبی و عمق جریان در مقاطع مذکور و ابتدا و انتهای بازه مورد مطالعه

جدول ۳. مقایسه پارامتر سرعت جریان (m/s) در حالت تغییر ضریب زبری و ابعاد شبکه محاسباتی

مقاطع اندازه‌گیری شده	پارامتر سرعت جریان (V) اندازه‌گیری شده (m/s)	پارامتر سرعت جریان (V) پیش‌بینی شده توسط مدل (m/s)			
		ابعاد ۱۷۰×۸۴۰		ابعاد ۲۱۰×۱۲۲۰	
		زبری (۰/۰۳۴-۰/۰۶۳)	زبری (۰/۰۳۳-۰/۰۵۲)	زبری (۰/۰۳۴-۰/۰۶۳)	زبری (۰/۰۳۳-۰/۰۵۲)
مقطع B	۱/۱۸	۱/۷۳	۱/۶۶	۱/۵۵	۱/۳۷
مقطع C	۱/۲۵	۱/۸۳	۱/۷۶	۱/۶	۱/۴۱
مقطع D	۱/۲۸	۱/۸۱	۱/۶۴	۱/۶۱	۱/۵۲
مقطع E	۱/۳۶	۱/۸۸	۱/۷	۱/۶	۱/۴۸
مقطع A (ورودی)	۱/۱۹	۱/۶۳	۱/۵۶	۱/۴۳	۱/۳۴
مقطع F (خروجی)	۱/۴۳	۱/۹	۱/۸۷	۱/۷۳	۱/۶۲

بر نتایج مدل، مرحله بعدی واسنجی مدل عددی CCHE2D است تا از طرفی درصد خطای مدل در پیش‌بینی پارامترها مشخص و از طرف دیگر شرایطی استاندارد در خصوص تنظیمات مدل و اندازه‌گیری پارامترها به‌وجود آید (۱۲). بدین‌منظور در بازه مورد مطالعه، فرضیه تغییر ضریب زبری (حساس‌ترین پارامتر) بر الگوی جریان با استفاده از مقدار تخمینی (مشاهدات صحرائی) در دامنه ۰/۰۳۴ تا ۰/۰۶۳ و تغییر آن با مقدار به‌دست آمده از معادلات در دامنه ۰/۰۳۳ تا ۰/۰۵۲ مقایسه شد؛ همچنین برای داشتن بهترین شرایط پایه در ساخت شبکه محاسباتی، تغییر ابعاد شبکه اعمال شد. اصولاً، گره‌ها در شبکه از تلاقی بردارهای طولی (I) و عرضی (J) با یکدیگر به‌وجود می‌آیند و هر گره معرف براینده ویژگی‌های چهار سلول اطراف خود است. بنابراین هرچه تعداد گره‌ها و به تبع آن سلول‌های ایجاد شده در مقطع عرضی رودخانه بیشتر باشد، شبکه تولید شده و الگوی جریان شبیه‌سازی شده، دقت بالاتری دارد، این فرایند باید تا آنجا ادامه یابد که تغییری در خروجی مدل مشاهده نشود (۳۰). برای ریزتر کردن شبکه تولید شده، تعداد I و Jها را از حالت اولیه (۱۷۰×۸۴۰) مدل خارج و ریزتر کرد و این فرایند تا آنجایی ادامه داده شد که تغییری در خروجی مدل مشاهده نشود و این در حالی به‌دست آمد که ابعاد شبکه محاسباتی (۲۱۰×۱۲۲۰) باشد. در جدول‌های شماره (۳) و (۴)،

بر مبنای دقت لازم و زمان اختصاص یافته به‌منظور انجام محاسبات، انتخاب شده است. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، با توجه به شکل پلان، حالت تک بلوکی برای نرم‌افزار تولید شبکه انتخاب شد (۳۰).

شبیه‌سازی الگوی جریان

مراحل شبیه‌سازی الگوی جریان توسط نرم‌افزار CCHE-GUI به شرح زیر است (۳۰):

ورود و فراخوانی فایل Geo، تنظیم شرایط اولیه جریان (تراز آب بالادست و پایین‌دست و ضریب زبری) بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در جدول (۲)، تنظیم پارامترهای جریان (گام زمانی، انتخاب مدل آشفتگی، محاسبه جریان ناپایدار و فرمول محاسبه زبری)، تنظیم شرایط مرزی ورودی و خروجی رودخانه (دبی جریان ماندگار، تراز سطح آب) و اجرای شبیه‌سازی. ضمناً برای کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل عددی CCHE از تغییرات داده‌های ضریب زبری و ابعاد شبکه محاسباتی بهره بردیم و سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل را با داده‌های مشاهداتی مقایسه و به حالت اپتیمم دست پیدا کردیم.

واسنجی مدل عددی CCHE2D

با انجام چندین بار مدل‌سازی و بررسی تأثیر پارامترهای مختلف

جدول ۴. مقایسه پارامتر عمق جریان (m) در حالت تغییر ضریب زبری و ابعاد شبکه محاسباتی

مقاطع اندازه‌گیری شده	پارامتر عمق آب (P) اندازه‌گیری شده (m)	پارامتر عمق آب (P) پیش‌بینی شده توسط مدل (m)			
		ابعاد ۱۷۰×۸۴۰		ابعاد ۲۱۰×۱۲۲۰	
		زبری (۰/۰۳۴-۰/۰۶۳)	زبری (۰/۰۳۳-۰/۰۵۲)	زبری (۰/۰۳۴-۰/۰۶۳)	زبری (۰/۰۳۳-۰/۰۵۲)
مقطع B	۱/۰۲	۱/۷۳	۱/۵۴	۱/۶۵	۱/۲۳
مقطع C	۱/۱۴	۲/۱۸	۱/۶۵	۱/۶۶	۱/۳۱
مقطع D	۱/۲۸	۱/۸۳	۱/۷۵	۱/۴۷	۱/۳۳
مقطع E	۱/۳۵	۱/۶۴	۱/۵۳	۱/۵۹	۱/۴۷
مقطع A (ورودی)	۱/۰۳	۱/۸۷	۱/۷۶	۱/۷	۱/۴۹
مقطع F (خروجی)	۱/۴۸	۱/۶۲	۱/۵۱	۱/۵۴	۱/۴۵

جدول ۵. نتایج مقایسه سرعت جریان، عمق آب و شیب انرژی مشاهداتی و برآوردی با استفاده از مدل k-ε و بر اساس دو معیار آماری

نوع روش	پارامتر سرعت جریان آب	پارامتر عمق آب	پارامتر شیب انرژی
RMSE	۰/۰۷۵	۰/۱۱۶	۰/۰۰۰۸
MAPE	۰/۰۲۷	۰/۰۶۲	۰/۰۴۴

مدل در شبیه‌سازی سرعت، عمق و شیب انرژی آشکار شود. برای این منظور از دو روش آماری جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) برای ارزیابی دقت مدل استفاده شد که روابط آنها به شرح ذیل است:

$$R.M.S.E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)^2} \quad (4)$$

که در این معادله، Q_o ، مقدار مشاهداتی در طبیعت و Q_e ، مقدار محاسباتی مدل است.

$$M.A.P.E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \times 100 \quad (5)$$

که در این معادله، y_t ، مقدار مشاهداتی در طبیعت و \hat{y}_t ، مقدار محاسباتی مدل است.

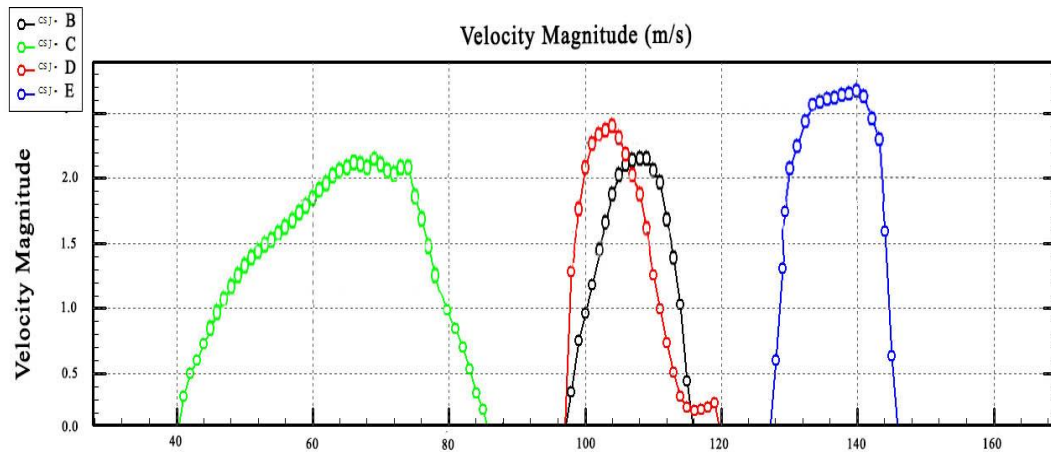
جدول (۵) میزان دقت و کارایی مدل در برآورد پارامترهای سرعت جریان، تراز آب و شیب انرژی آورده را نشان می‌دهد.

مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای سرعت جریان آب (V) و عمق جریان آب (P) و در حالت‌های تغییر ضریب زبری و تغییر ابعاد شبکه محاسباتی مقایسه شده است. همان‌گونه که از جداول بالا مشاهده می‌شود، نزدیک‌ترین مقادیر پیش‌بینی شده به مشاهدات، مربوط است به شبکه محاسباتی تولید شده با ابعاد (۲۱۰×۱۲۲۰) و الگوی جریان شبیه‌سازی شده با ضریب زبری در دامنه (۰/۰۳۳ تا ۰/۰۵۲). همچنین با توجه به جداول مذکور و نتایج مدل مشخص شد تغییرات عمق جریان حساسیت کمتری به تغییر ابعاد شبکه محاسباتی دارد، این در حالی است که پارامتر توزیع سرعت جریان، حساسیت زیادی (به‌ویژه در محدوده مقعر قوس رودخانه) به تغییر ابعاد شبکه نشان داده است.

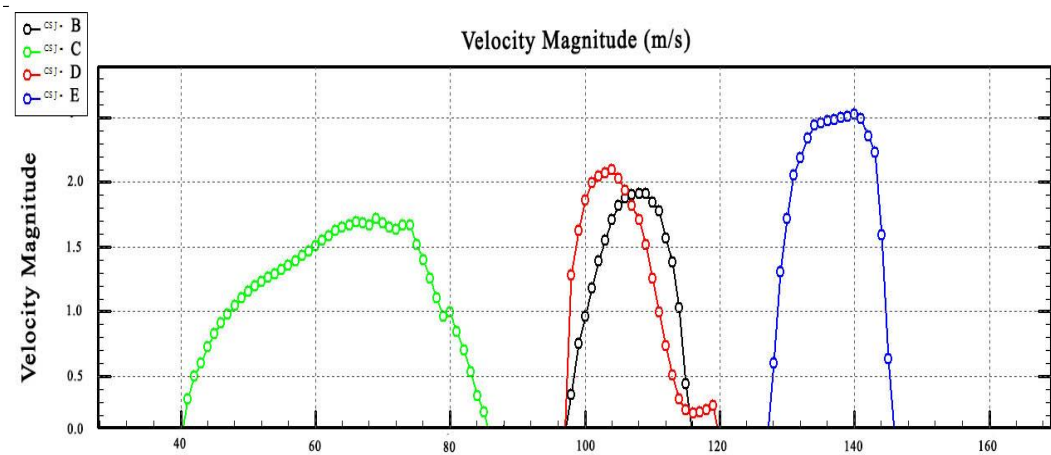
ارزیابی کارایی مدل

در ادامه، نتایج به‌دست آمده از مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده در طبیعت (در حالت میان‌گیری شده) مقایسه شد تا دقت

شبیه‌سازی تغییرات سرعت با مدل k-ε



شبیه‌سازی تغییرات سرعت با مدل لزجت گردابه‌ای



شکل ۵. نمودار تغییرات سرعت در چهار مقطع (E و D, C, B) برای دو مدل لزجت گردابه‌ای و مدل k-ε

یافته‌ها و بحث

بررسی مدل‌های آشفتگی جریان

در این پژوهش برای شبیه‌سازی حالات انتقال آشفتگی، از دو مدل لزجت گردابه‌ای و مدل k-ε استفاده شد. همان‌طور که در شکل (۵) مشهود است، نتایج آماری شبیه‌سازی سرعت جریان (با توجه به حساسیت بالای این پارامتر نسبت به مدل آشفتگی و تغییرات ابعاد شبکه قلمرو جریان) برای این دو مدل آشفتگی مقایسه و در جدول (۶) نتایج مقایسه آماری سرعت جریان (m/s) برای دو مدل لزجت گردابه‌ای و مدل k-ε براساس دو معیار آماری RMSE و MAPE نشان داده شده است.

همان‌گونه که از شکل و جدول بالا مشاهده می‌شود، مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل آشفتگی k-ε از دقت بالاتری برخوردار است. براساس نتایج مدل و مشخصات اندازه‌گیری جریان آب، مدل آشفتگی لزجت گردابه‌ای برای برآورد توزیع سرعت و تغییرات عمق جریان در محدوده دیواره رودخانه، به‌ویژه قسمت مقعر قوس رودخانه دارای دقت کمتری است، اما مدل آشفتگی k-ε برآورد دقیق‌تری از تغییرات عمق و توزیع سرعت جریان برای محدوده‌های مزبور دارد.

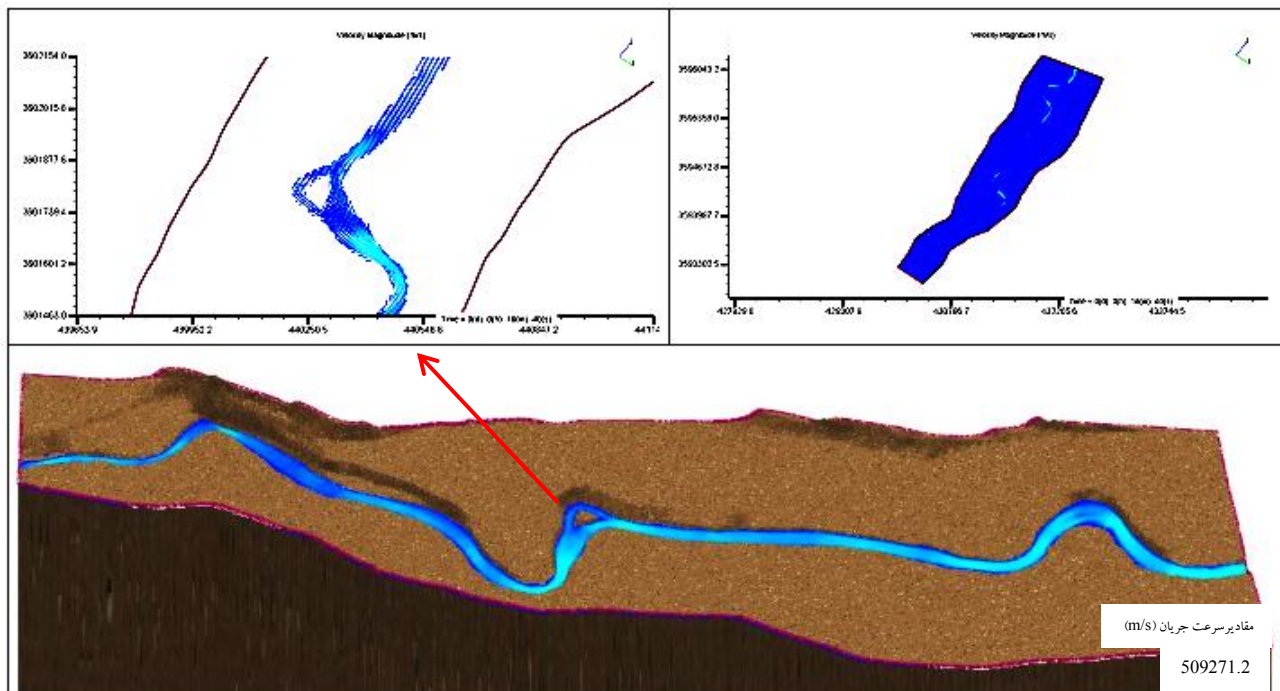
بررسی پارامترهای سرعت جریان آب و تنش برشی

تغییرات مقادیر و بردارهای سرعت در طول کانال در شکل (۶)، نشان می‌دهد که در بازه مستقیم قبل از قوس اول، ماکزیمم

جدول ۶. نتایج مقایسه آماری سرعت جریان (m/s) برای دو مدل لزجت گردابه‌ای و مدل $k-\varepsilon$ بر اساس دو معیار آماری

MAPE و RMSE

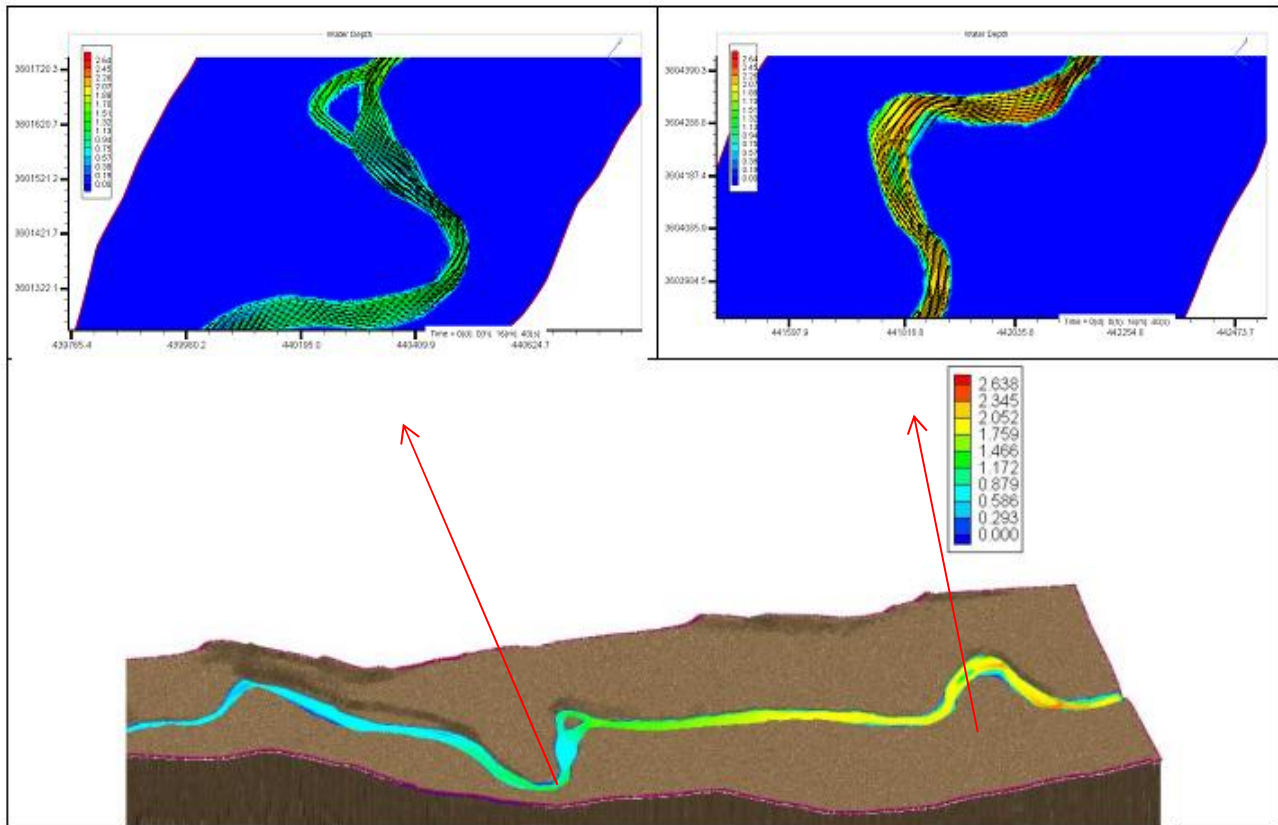
نوع روش	مدل لزجت گردابه‌ای	مدل $k-\varepsilon$
RMSE	۰/۰۲۶	۰/۰۱۸
MAPE	۰/۰۱۷	۰/۰۱۳



شکل ۶. توزیع متغیر سرعت در بازه مورد مطالعه روخانه دیمه

همانند توزیع سرعت، ماکزیمم مقدار تنش برشی آب در بستر کانال اتفاق می‌افتد ولی در قوس‌های بازه مورد مطالعه حداکثر تنش برشی در کناره خارجی اتفاق می‌افتد. به‌علاوه از نیمه دوم قوس اول افزایش تنش برشی شروع می‌شود و در انتهای این قوس به‌علت کاهش عرض بازه و به تبع آن افزایش عمق و سرعت جریان، تنش برشی به حداکثر خود می‌رسد. با ورود جریان به قوس دوم به‌علت افزایش عرض بازه و انحنای جریان، مقدار سرعت جریان به تدریج کاهش می‌یابد و توزیع تنش برشی تقریباً در ناحیه ورودی خم، یکنواخت می‌شود و در محدوده خروجی قوس به‌علت تنگ‌شدگی بازه و کاهش ضریب زبری، یک ناحیه تنش برشی قوی در نزدیکی انتهای

مقدار سرعت آب در وسط کانال اتفاق می‌افتد. افزایش ضریب زبری بازه مستقیم بالادست قوس اول، سبب کاهش سرعت جریان ورودی به قوس اول شده است؛ این امر و انحنای بالای قوس باعث می‌شود که تغییراتی مانند جریان ثانویه، نیروی گریز از مرکز و سرعت جریان در نیمه دوم قوس اول شدت بگیرند. همچنین محدود بودن نیمه دوم قوس اول توسط دیواره‌ها و عدم پخش سیلاب در نواحی سیلاب‌دشت مزید بر علت است. با توجه به روابط $\tau = \gamma R S_f$ و $\tau = \mu_0 \frac{\partial U}{\partial y}$ کاملاً مشهود است که پارامتر تنش برشی رابطه‌ای مستقیم با گرادینان سرعت دارد؛ همان‌طور که در شکل (۶)، مشاهده می‌شود در بازه مستقیم بالادست قوس اول



شکل ۷. تصویر توزیع متغیر عمق جریان

اول دارای ضریب زبری بالاتری نسبت به محدوده قوس است و همچنین به دلیل وجود انحنای زیاد در نیمه اول قوس، حداکثر تغییرات جریان (افزایش سرعت)، در نیمه دوم قوس صورت می‌گیرد. در این محدوده نیروی گریز از مرکز بر جریان اثر کرده و باعث ایجاد شیب عرضی در سطح آب می‌شود که در نتیجه شیب عرضی، سطح آب در قوس خارجی بالا رفته و در قوس داخلی کاهش می‌یابد. همچنین کاهش عرض در نیمه دوم قوس اول سبب افزایش عمق شده است و باعث بالا رفتن توان حمل رسوب و بارکف و در نهایت موجب آبستنگی زیاد در بستر می‌شود. در قوس دوم، افزایش عرض رودخانه، سبب کاهش ارتفاع جریان آب، افزایش تأثیر زبری بستر و در نتیجه کاهش سرعت جریان می‌شود. همچنین کاهش سرعت و ارتفاع جریان در قوس دوم سبب کمتر شدن اختلاف ارتفاع سطح آب در ساحل خارجی و داخلی قوس

قوس اتفاق می‌افتد. در قوس سوم با ورود جریان به قوس و به خاطر گرادیان طولی فشار ناشی از نیروی جاذب مرکز، حداکثر سرعت به طرف دیواره داخلی منتقل می‌شود. در قسمت کوتاهی از اول قوس، گرادیان طولی منفی در نزدیک دیواره رخ داده و باعث شتاب گرفتن ذرات آب می‌شود. بعد از این محدوده، حداکثر سرعت به نزدیکی دیواره بیرونی منتقل می‌شود. در این قوس دو منطقه تنش برشی قوی در قسمت ابتدای قوس داخلی و در جداره بیرونی کانال که ماکزیمم مقدار تنش برشی در این قوس در قسمت انتهایی قوس خارجی رخ می‌دهد، ایجاد می‌شود.

پارامتر عمق آب

همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است با ورود جریان به قوس اول به علت اینکه بازه مستقیم بالادست قوس

انفصال (گسستگی) معادلات حاکم بر جریان در نتیجه نهایی وجود نخواهد داشت.

تغییرات عمق جریان، حساسیت کمتری به تغییر ابعاد شبکه محاسباتی دارد، درحالی که پارامتر توزیع سرعت جریان حساسیت زیادی (به‌خصوص در محدوده مقعر قوس رودخانه) به تغییر ابعاد شبکه دارد.

برای شبیه‌سازی حالات انتقال آشفتگی، از دو مدل لزجت گردابه‌ای و مدل $k-\epsilon$ استفاده و معلوم شد که به‌طور متوسط مدل آشفتگی لزجت گردابه‌ای برای برآورد توزیع سرعت و تغییرات عمق جریان در کل قلمرو جریان مناسب است اما در محدوده دیواره رودخانه به‌ویژه قسمت مقعر قوس رودخانه دقت کمتری دارد. بنابراین با توجه به خروجی مدل به‌نظر می‌رسد برای برآورد تغییرات عمق و توزیع سرعت جریان در چنین محدوده‌هایی، مدل آشفتگی $k-\epsilon$ دقیق‌تر است.

در مقاطع نیمه دوم تا خروجی قوس اول، خط حداکثر سرعت در جداره خارجی کانال قرار گرفته و تا انتهای کانال تقریباً بدون تغییر می‌ماند. این پدیده نشان‌دهنده قدرت بالای جریان ثانویه است. علت این امر آن است که پروفیل‌های سرعت در مقاطع عرضی واقع در نیمه دوم قوس به حالت توسعه یافته رسیده و مقادیر سرعت بین دو مقطع تغییر چندانی ندارد؛ همچنین شیب نسبتاً بالای بستر و محدود بودن این ناحیه از رودخانه توسط دیواره‌ها و عدم پخش سیلاب در نواحی سیلاب دشت مزید بر علت است.

دوم نسبت به قوس اول می‌شود. به‌طور کلی از قوس دوم به سمت پایین دست ضریب زبری مورد مطالعه کاهش یافته و سرعت جریان افزایش می‌یابد. در قوس سوم، کاهش ضریب زبری و افزایش انحنای قوس باعث می‌شود که در محل وقوع خم و کمی بعد از آن، مقدار حداکثر سرعت، متمایل به دیواره خارجی (مقعر) ایجاد شود که سبب افزایش ارتفاع در قوس مقعر می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بهره‌گیری از یک مدل دوبعدی عددی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، به‌نام CCHE2D، الگوی جریان آب در یک بازه پیچان‌رود طبیعی شبیه‌سازی شد و نتایج حاصل از ارزیابی آماری مدل، قابلیت مدل عددی به‌کار رفته را در پیش‌بینی پارامترهای جریان آب تأیید کرد.

هرچه تعداد گره‌ها و به‌تبع آن سلول‌های ایجاد شده در مقطع عرضی رودخانه بیشتر باشد، شبکه تولید شده و الگوی جریان شبیه‌سازی شده، دقت بالاتری دارد زیرا با افزایش تعداد گره‌ها، تعداد بیشتری از داده‌های جریان، برداشت شده و در نتیجه پلات و نمودارهای استخراج شده، قدرت تفکیک بالاتری دارند. اهمیت این موضوع از مقایسه نتایج برآوردی مدل و مشاهداتی در مقاطع اندازه‌گیری شده بیشتر مشخص شد. شایان ذکر است نباید شبکه محاسباتی را زیاد از حد از حالت استاندارد، ریز کرد، زیرا دیگر تفاوتی میان روش‌های عددی در

منابع مورد استفاده

1. Abbasi Chenari, Q. 2011. Investigation of the effect of geometry and distance of a non-submerged gullet on flow pattern in river arch using numerical models, *In: Proceeding of the Fifth National Conference on Watershed Management and Water Resources Management, Kerman.* (In Farsi).
2. Arizona Department of Transportation. 1988. Analysis of Flow an Alluvial Fans, Report number : FHWA-AZ88-802.P:53.
3. Azarang, F.; M. Shafaei Beheshtani, B. Dehazadeh and B. Shahinejad. 2009. Application of CCHE model in hydraulic and sedimentary simulation of the river (case study: karun river, ahvaz-farsiat basin). *In: Proceeding of the Eighth International Seminar, Tehran University Martyr Chamran Ahvaz.* (In Farsi).

4. Azizian, A., M. Gholizadeh and A. Amiri Tkeldani. 2009. Simulation of Cochlear migration process (meander rivers) using CCHE2D numerical model. *In: Proceeding of the Eighth International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi).*
5. Committee on Alluvial Fan Flooding, National Research Council. 1996. Alluvial Fan Flooding, 182pp.
6. Farhadi, A. 2005. Measuring and investigation of kykhanrood route and cutoff of kazemabad waterway, *In: Proceeding of the Fifth Iranian Hydraulic Conference, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman. (In Farsi).*
7. Fathi, M. and A. Artistic. 2011. Modeling flow pattern with CCHE2D in a natural twist, MSc. Thesis, Shahrekord University. (In Farsi).
8. Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2000. Guidelines for Determining Flood Hazard on Alluvial Fans, 23pp.
9. FEMA. 2000. Guidelines and specifications for flood hazard mapping parameters.
10. Ghavasieh, A. and A. Nowruz. 2008. Investigation of the effective conditions on riverbed multipruncation (case study: varamin rotary alloy). *In: Proceeding of the 7th Iranian Hydraulic Conference, Shahid Abbaspour University. (In Farsi).*
11. Guide to the Application of Mathematical and Physical Models to Engineering and River Studies in the River. 2007. Journal No. 320-A, Vice President of Strategic Planning and Supervision.
12. Isfahani, K. M. and A. Diving. 2005. Flood zoning analysis in alloys, *In: Proceeding of the 5th Iranian Hydraulic Conference, Shahid Bahonar University of Kerman. (In Farsi).*
13. Jia, Y. F. and S. Wang. 2001. CCHE2D :Two-dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flow Over Loose Bed. NCCHE Technical Report.NCCHE-TR-2001-01.
14. Jia, Y., Y. Zhang, S. Wang and A. Raible. 2006. Numerical simulations of channel response to riverine structures in arkansas river. *In: Proceeding of the 7th Internatinal Conferance on Hydrosience and Engineering (ICHE-2006), Philadelphia, USA.*
15. Khosravi, R. 1391. Numerical Simulation of flow and sediment by CCHE2D Model (case study: downhill minab dam), MSc. Thesis, Hormozgan University. (In Farsi).
16. Malek Abasloo, A., H. Hajikandi and M. Piristani. 1391. Two-dimensional modeling of flow pattern in convective rivers, *In: Proceeding of the 9th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi).*
17. Malek Abasloo, A., H. Hajikandi, M. Mahmoudi Vanalia and M. Vosough. 1391. Flood zoning in cone-shaped rivers using two-dimensional CCHE2D model, *In: Proceeding of the 11th Iranian Hydraulic Conference, Urmia University. (In Farsi).*
18. Naderi Fasarani, A., B. Roshanzar, M. Nasiri and Gh. Zahhtabian. 2009. River engineering and operational strategies for correction of flood spreading areas (case study: shahid yaghoubi dam - torbat heydariyeh watershed), *In: Proceeding of the 5th National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Farsi).*
19. Naji Abhari, M. 2008. Numerical simulation of flow pattern in 90 degree arc using SSIIM software, *In: Proceeding of the 4th National Congress of Civil Engineering, University of Tehran. (In Farsi).*
20. Najafipour, F. and A. S. Sakabi. 2006. Design of unstable walled twistways to control the path and reduce sedimentation process, *In: Proceeding of the 7th Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi).*
21. Nikro, P., M. Kavianpour and M. Pourhassan. 2011. Investigation of flood damage in cone-stricken rivers using Arc GIS software, *In: Proceeding of the 10th Iranian Hydraulic Conferance, Rasht, Iran Hydraulic Society, University of Guilan. (In Farsi).*
22. Nicksokhan, M., S. Seif and M. Vosough. 2010. Numerical investigation of flood propagation pattern in taper, *In: Proceeding of the 9th Iranian Hydraulic Conference, Tarbiat Modarres University. (In Farsi).*
23. Noah, A. 2003. Investigation of geomorphological status of pichanrood and its role in bed and erosion of the minab river, *Geographical Research* 51: 65-84.
24. Principles of Design of Erosion Control Structures in Rivers and Waterways. 2008. Issue 417. Vice President of Strategic Planning and Supervision.
25. Rinaldi, M., B. Wyz and N. Surian. 2005. Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives, *River Research and Applications* 21: 805-828.
26. Rostami Moeghbali, S. 2011. Evaluation of the impacts of structures constructed in kordan river cone on morphological and hydraulic changes of branched branch flows. *In: Proceeding of the 10th Iranian Hydraulic Conference, University of Guilan. (In Farsi).*

27. Rostami, M. P. and E. Delafrouz. 2009. Influence of principal design of protective structure on changing pattern of flow distribution pattern of hablehroud river in garmsar conic impact area, *In: Proceeding of the 8th Iranian Hydraulic Conference*, University of Tehran. (In Farsi).
28. Shojaei Fard, M. H. and A. S. Norpour Hashtroud. 2000. Introduction to Computational Fluid Dynamics, Iran University of Science and Technology. (In Farsi).
29. Vafa'i Manesh, M. and H. Khorsandi. 2007. One-dimensional analysis of arterial rivers and their bedding (case study: rudan river), *In: Proceeding of the 6th Iranian Hydraulic Conference*, Shahrekord University. (In Farsi).
30. Zhang, Y. 2009. CCHE-GUI – Graphical Users Interface for NCCHE Model User's Manual Version 3.0, Technical Report No. NCCHE-TR-2009-01, Mississippi University, MS 38677.
31. Zorkeflee, H. 2007. Application of 2-D modelling for muda river using CCHE2D, *In: Proceeding of the International Conference on Managing Rivers in the 21 Century Solution Towards Sustainable River Basins*.

Numerical Analysis of Hydraulic Flow in a River Alluvial Fan with the CCHE2D (A Case Study: Oregon River between the Sudjan Bridge and Dimeh)

A. Honarbakhsh¹, M. Fathi^{2*} and M. Rostami¹

(Received: March 15-2017; Accepted: November 17-2018)

Abstract

In general, rivers are one of the best and most accessible water resources at the disposal of mankind. So, given the effect of the force of water and changes on the flow patterns and consequently, on river morphology changes, the analysis of the flow in the river is important and necessary to organize projects, flood control and water supply structures downstream. In this study, by using numerical models CCHE2D hydraulic conditions Dimeh River Bridge between Oregon Bridge Sudjan was investigated. CCHE Model is a mathematical model capable of simulating the flow patterns and sediment transport in rivers and canals laboratory network. The numerical model in 1998, based on the calculations by the National Centre for Water Science and Engineering, University of Mississippi (NCCHE), was developed and has been applied in many research projects related to water engineering. At the outset, the input data required model provides and numerical model was implemented. In the next step, the results of the model were calibrated and validated using field data measurements; eventually, they were extracted and their model results were compared; it was confirmed that CCHE model could still simulate the flow pattern.

Keywords: CCHE Model and Validation, Flow Pattern, Morphology, River

1. Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran.

2. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran.

*: Corresponding Author, Email: fathiapadana@gmail.com