



دانشگاه گواران، روستای آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هشتم، شماره دوم، ۱۴۰۰

۱۷۵-۱۵۹

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2021.13451.2814

مقاله کامل علمی - پژوهشی

شبیه‌سازی اثر آب‌شکن‌های متناوب و پشته‌های رسوبی روی الگوی جریان در پیچان رود طبیعی رودخانه تجن

غلامرضا خسروی^{۱*}، عبدالرضا بهره‌مند^۲، مهدی تیموری^۳ و سجاد احمدیوسفی^۴

^۱دانش‌آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲دانشیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳استادیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، مجتمع آموزش عالی شیروان،

^۴دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: آب‌شکن‌ها در پایدارسازی و تثبیت کناره رودخانه‌ها کاربرد فراوانی دارند. الگوی جریان و فرسایش و رسوب‌گذاری اطراف آب‌شکن‌ها تابع عوامل مختلفی است که از آن جمله می‌توان به نوع آب‌شکن، شکل هندسی مقاطع، ظرفیت حمل رسوب و غیره اشاره نمود. در این پژوهش با استفاده از مدل عددی دوبعدی تحت عنوان CCHE2D به بررسی اثر آب‌شکن‌های متناوب و پشته‌های رسوبی بر الگوی جریان آب در بازه مکانی با طول حدود ۱/۶ کیلومتر از رودخانه تجن در شمال سرخس و پایین‌دست روستای نوروزآباد پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها: در گام نخست این پژوهش، نقشه بزرگ مقیاس توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه گردید و در سه مقطع از مقاطع نقشه‌برداری شده به اندازه‌گیری پارامترهای جریان پرداخته شد و بیش‌ترین تأکید بر روی قوس‌های متوالی و مقاطع نزدیک آب‌شکن‌ها و پشته‌های رسوبی در رودخانه است. با استفاده از داده‌های توپوگرافی حاصل از نقشه‌برداری زمینی و تهیه مدل هندسی و شبکه محاسباتی با ابعاد مختلف و نیز اندازه‌گیری میدانی، مشخصات جریان شامل سرعت و عمق، مدل هیدرودینامیکی دو بعدی اجرا گردید. به منظور ارزیابی تغییرات پروفیل طولی سرعت، توزیع تنش برشی و عمق جریان در بخش‌های انحنا دار رودخانه و هم‌چنین محدوده‌های مجاور آب‌شکن و پشته‌های رسوبی، مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی مقایسه شدند. در پایان، از دو معیار آماری RMSE و MAPE، برای ارزیابی کارایی مدل استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش بیانگر دقت مناسب مدل در پیش‌بینی پارامترهای جریان در مجاور آب‌شکن‌ها و پشته‌های رسوبی است هم‌چنین این مدل با دقت مناسب موقعیت‌های حداکثر تنش برشی جریان در بستر و کناره‌ها را نمایش

* مسئول مکاتبه: gholamreza.khosravi@yahoo.com

می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی این پژوهش نیز نشان داد که بردارهای چرخشی و گردابه‌های جریان بالادست آب‌شکن‌ها نسبت به پایین‌دست آن‌ها بزرگ‌تر هستند و به‌طورکلی با حرکت به سمت پایین‌دست این سری آب‌شکن‌ها، ابعاد گردابه‌ها کوچک‌تر می‌شوند از طرفی میزان سرعت و تنش برشی در پایین‌دست آب‌شکن‌ها نسبت به بالادست آن‌ها بیش‌تر است و میزان سرعت جریان با حرکت به سمت پایین‌دست سری آب‌شکن‌ها کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داده است که برای دبی مشاهداتی (۴۷ مترمکعب بر ثانیه) و دبی با دوره بازگشت کم‌تر از ۲۵ سال، آب‌شکن‌ها اثرات موضعی بر انحراف جریان دارند بنابراین آب‌شکن‌ها نمی‌توانند سیل‌های با دوره بازگشت کم‌تر از ۲۵ سال را به سمت ساحل شرقی انحراف دهند زیرا تراکم بسیار زیاد پوشش گیاهی و ضریب زبری بالا در ساحل شرقی، امکان ورود جریان با دوره بازگشت زیر ۲۵ سال به مجاری فرعی را نمی‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آب‌شکن، پشته رسوبی، پیچان‌رود، رودخانه تجن، CCHE2D

مقدمه

می‌گیرند. مکانیزم عملکرد آب‌شکن به این صورت است که با هدایت جریان به سمت محور رودخانه از ایجاد جریان با سرعت بالا در طول ساحل جلوگیری کرده و مانع فرسایش ساحل رودخانه می‌شود. به‌طور کلی عملکرد مثبت این سازه‌ها از یک‌سو به ویژگی‌های طبیعی رودخانه و از سوی دیگر به رعایت نکات فنی درحین احداث سازه بستگی دارد (۷) و (۱۲). برای تحلیل فرآیندهای هیدرودینامیک جریان در رودخانه و بررسی عملکرد سازه‌های حفاظت‌کننده از دیواره رودخانه، مطالعات متعددی انجام شده است. برخی از این مطالعات بر مبنای مدل‌های عددی و آزمایشگاهی به شرح زیر است.

دهقانی و همکاران (۲۰۱۰) به مطالعه آزمایشگاهی اطراف آب‌شکن L شکل پرداختند و نتایج نشان داد حداکثر عمق آب‌شستگی اطراف آب‌شکن اول اتفاق می‌افتد و هرچه قطر متوسط ذرات بستر افزایش یابد، میزان آب‌شستگی کاهش می‌یابد. همچنین، در یک دانه‌بندی مشخص، با افزایش فاصله بین آب‌شکن‌ها، میزان حداکثر عمق آب‌شستگی نسبی روند کاهشی داشته و این روند با افزایش عدد فرود محسوس‌تر است (۳). مغربی و همکاران (۲۰۱۰) به شبیه‌سازی

حفاظت ساحل رودخانه در مقابل فرسایش از اهداف اصلی ساماندهی رودخانه‌ها در توسعه پایدار منابع آب به‌شمار می‌آید. چرا که فرسایش سواحل رودخانه‌ها، باعث خسارت به اراضی کشاورزی، آسیب دیدن سازه‌های مجاور مانند پل‌ها و جاده‌ها، عریض شدن آبراهه جریان و تخریب محیط زیست می‌شود؛ این مسأله سبب می‌شود هر ساله مبالغ زیادی برای حفاظت از سواحل رودخانه در برابر فرسایش هزینه شود. از طرفی با شناخت رفتار هیدرولیکی و رسوبی رودخانه‌ها می‌توان به شناسایی نقاط حساس آن‌ها پرداخت و فرسایش را تا حدودی با استفاده از روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل نمود (۴ و ۸). روش‌های حفاظت سواحل از دیدگاه عملکرد سازه‌ها به دو گروه کلی حفاظت مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. در روش غیرمستقیم، تثبیت رودخانه‌ها توسط احداث سازه‌های عرضی یا آب‌شکن در طول ساحل فرسایش‌پذیر انجام می‌گیرد. مهندسی رودخانه، آب‌شکن‌ها به صورت گسترده برای اصلاح و انحراف مسیر رودخانه، حفاظت و تثبیت دیواره‌ها، تنظیم هندسه هیدرولیکی آبراهه‌ها مورد استفاده قرار

عددی جریان در رودخانه شریانی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد، جریان حول جزیره رسوبی تابعی از شرایط هیدرولیکی جریان است و جزیره رسوبی در دبی‌های مختلف اثرگذاری متفاوتی بر روی الگوی جریان در ناحیه موردبررسی دارد (۹). ترابی‌زاده و بی‌نا (۲۰۱۱) اثر تنگ‌شدگی کانال ناشی از احداث آب‌شکن‌های رودخانه زهره در شهرستان بهبهان در تغییر پارامترهای هیدرولیکی با استفاده از اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات صحرایی و با کمک نرم‌افزار MIKE11 را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که احداث آب‌شکن‌ها در بازه رودخانه منجر به کاهش عرض، افزایش عمق، افزایش سرعت و تنش برشی می‌گردد (۱۳). کرمی و همکاران (۲۰۱۱) جهت کاهش عمق آبشستگی آب‌شکن‌های سری، از یک آب‌شکن محافظ در بالادست استفاده کردند. نتایج نشان داد در شرایطی که آب‌شکن محافظ به درستی طراحی شود، قادر خواهد بود تا متوسط حداکثر عمق آبشستگی را در آب‌شکن‌های سری کاهش دهد (۵). پژوهش‌های عباسی و همکاران (۲۰۱۲) بیانگر آن است که با توجه به پارامترهای سرعت جریان و حداکثر عمق آبشستگی، نسبت فاصله به طول آب‌شکن در مسیر مستقیم برای آب‌شکن‌های مستقیم برابر سه و برای آب‌شکن‌های T شکل، برابر چهار پیشنهاد می‌شود (۱). خسروی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل عددی دوبعدی CCHE2D برای شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب در بازه‌های از پیچان‌رودی طبیعی، حدفاصل سد استقلال میناب تا پل شهرستان میناب در استان هرمزگان پرداخت، نتایج نشان داد که مدل فوق از قابلیت خوبی جهت پیش‌بینی ویژگی‌های جریان و رسوب در رودخانه‌های پیچان‌رودی برخوردار است (۶). جیا و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مدل CCHE2D به شبیه‌سازی اثر سازه دایک روی الگوی

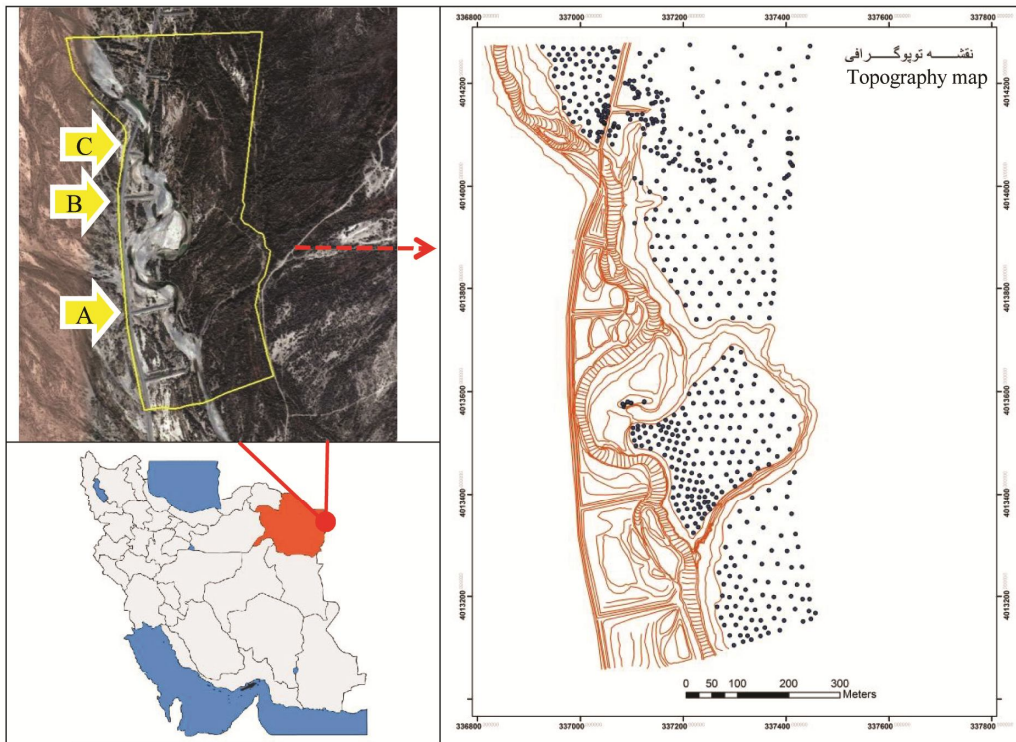
جریان، حمل رسوب، تغییرات مورفولوژی بستر رودخانه آرکانزاس، پرداختند، نتایج پژوهش نشان داد، وجود دایک سبب افزایش سرعت، تنش برشی و کاهش مقدار رسوب‌گذاری می‌گردد (۴). سانی (۲۰۰۶) به انجام مطالعاتی به‌منظور بررسی تأثیر درصد انسداد در آبشستگی اطراف آب‌شکن‌ها پرداخت، بر اساس نتایج آزمایشگاهی، هر چقدر طول آب‌شکن بلندتر و درصد انسداد بیش‌تر باشد میزان آبشستگی نیز افزایش می‌یابد و با افزایش عمق جریان نیز در دبی ثابت میزان آبشستگی کاهش می‌یابد (۱۱). نسار (۲۰۱۱) به آنالیز حساسیت مدل CCHE2D در رودخانه نیل در مصر پرداخت نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، مدل حساسیت بالایی به تغییرات ضریب زبری دارد (۱۰). مرور مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد بررسی الگوی جریان مجاور آب‌شکن‌ها و پشته‌های رسوبی در کانال‌های طبیعی از جمله مباحث مهمی است که مطالعات زیادی برای شناخت آن مورد نیاز است. در این پژوهش سعی بر آن است که با توجه به فرسایش‌پذیری و تغییرات مورفولوژی زیاد در بازه مکانی مورد مطالعه با کمک مدل دوبعدی CCHE2D به بررسی اثر سازه‌های آب‌شکن متناوب و پشته‌های رسوبی روی سرعت و عمق جریان، جریان ثانویه و تنش برشی پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد مطالعه، بازه‌ای از رودخانه تجن در شمال سرخس و پایین‌دست روستای نوروزآباد واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی $56^{\circ} 53' 09''$ و عرض جغرافیایی $25^{\circ} 20' 37''$ قرار گرفته است. طول بازه حدود $1/6$ کیلومتر است و با توجه به تراز توپوگرافی ابتدا و انتهای بازه به ترتیب در حدود $299/5$ و $296/4$ متر از سطح دریا است شیب متوسط

آب‌شکن‌ها به منظور هدایت جریان سیل به ساحل شرقی از طریق دو کانال طبیعی (شکل ۲) و جلوگیری از فرسایش کناره‌ای و پیشروی مسیر رودخانه به کرانه غربی است.

حدود ۰/۰۰۲ درصد است. مساحت حوضه بالادست رودخانه تاجن همانند دیگر رودخانه‌های منطقه دائمی نیست و در فصول سال با تغییرات میزان ریزش باران دارای نوسانات زیادی است (شکل ۱). هدف از احداث این



شکل ۱- نمایی از موقعیت بازه مورد مطالعه در رودخانه تاجن و کشور ایران و موقعیت مقاطع اندازه‌گیری روی تصویر گوگل ارث.

Figure 1. The study reach in Tajan river and Iran.

توسعه یافته است. ژانک (۲۰۰۹) برای ساخت هندسه میدان و شبکه‌بندی قلمرو مطالعاتی از یک نرم‌افزار مجزای پیش پردازنده تحت عنوان CCHE-MESH بهره می‌برد و حل میدان جریان و فرآیند انتقال رسوب و همچنین مشاهده نتایج در محیط گرافیکی نرم‌افزار، با عنوان CCHE-GUI انجام می‌شود (۱۵). شبیه‌سازی جریان آب بر اساس حل معادلات متوسط عمقی ناویر-استوکس می‌باشد. تنش برشی متلاطم با استفاده از تخمین معادلات بوزینسک محاسبه می‌گردد و برای محاسبه لزجت گردابه‌ای متلاطم از سه مدل

روش تحقیق: به منظور دستیابی به اهداف مقاله حاضر ابتدا در این مرحله مشخصات مدل عددی مورد استفاده معرفی و سپس مراحل انجام کار با مدل تشریح می‌گردد و با بهره‌گیری از نتایج مدل به صحت سنجی مدل عددی و ارزیابی نتایج پرداخته می‌شود.

مدل CCHE2D: CCHE2D یک مدل عددی دوبعدی برای شبیه‌سازی جریان ماندگار و غیر ماندگار آشفته و همچنین انتقال رسوب در کانال‌های باز است که در مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی آب (NCCHE)، دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا تهیه و

انتقال ذرات رسوب بار بستر در بازه‌های پیچان رود را در نظر می‌گیرد.

معادلات اصلی که این مدل بر اساس آنها پایه‌گذاری شده است را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود (رابطه‌های ۱ تا ۳):

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (۱)$$

الف) معادله پیوستگی:

ب) معادله مومنتوم:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor} v \quad (۲)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - f_{Cor} u \quad (۳)$$

اندازه‌گیری داده‌های میدانی و آزمایشگاهی مورد نیاز

مدل CCHE2D

نقشه‌برداری و اندازه‌گیری پارامترهای جریان بازه مورد مطالعه: در گام نخست این پژوهش، به نقشه‌برداری بازه مکانی مورد مطالعه با استفاده از دوربین نقشه‌برداری توتال استیشن دیجیتال پرداخته شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشهود است در سه مقطع از مقاطع نقشه‌برداری شده به اندازه‌گیری پارامترهای جریان پرداخته شد و بیش‌ترین تأکید بر روی قوس‌های متوالی و مقاطع نزدیک آب‌شکن‌ها و پشته‌های رسوبی در رودخانه بود تا بتوان تأثیر جریان‌های ثانویه و نیروهای گریز از مرکز را بر فرسایش کناره‌ها و همچنین اثر هیدرولیکی آب‌شکن و پشته‌های رسوبی روی الگوی جریان بررسی کرد.

آشفته‌گی استفاده می‌شود. مدل شبیه‌ساز پدیده انتقال رسوب این نرم‌افزار، توانایی مدل‌سازی انتقال هر دو فاز بار معلق و بار بستر را در تمام حالات غیرتعادلی، غیریکنواخت و رسوب چسبنده یا غیرچسبنده دارد. همچنین این مدل، تأثیر جریان‌هایی ثانویه بر نحوه

که در آنها، u و v به ترتیب بیانگر مؤلفه‌های سرعت متوسط‌گیری شده در عمق در راستای x و y (بر حسب متر بر ثانیه)، t زمان (ثانیه)، g شتاب جاذبه، Z بیانگر تراز ارتفاعی سطح آب (متر)، ρ وزن مخصوص آب (نیوتن بر مترمکعب)، h عمق جریان (متر) و f_{cor} ضریب مربوط به شتاب کوریولیس، τ_{yx} و τ_{yy} ، τ_{xy} ، τ_{xx} تنش‌های رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق (بی‌بعد) و τ_{bx} و τ_{by} تنش‌های برشی بستر در راستای x و y (نیوتن بر مترمربع) می‌باشند.

ج) معادله آشفته‌گی: برای شبیه‌سازی اثر آشفته‌گی بر الگوی جریان و بستن سیستم معادلات حاکم، مدل CCHE2D، از مدل لزجت گردابه‌ای، مدل طول اختلاط و مدل دو معادله‌ای $k-\epsilon$ بهره می‌برد (۱۵).

سرعت‌سنج روی آن وصل شد تا در هر مرحله قرائت، دستگاه کاملاً ساکن و بدون لرزش باشد. سرعت جریان در چند نقطه از مقاطع اندازه‌گیری و در ترازهای عمق مختلف (ضریب ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ عمق جریان نسبت به کف بستر) اندازه‌گیری شد (۲). 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 حداقل در ۶ نقطه و حداکثر ۱۰ نقطه با فواصل مساوی در مقاطع مورد نظر، اندازه‌گیری شد. همان‌طور که در جدول ۱، مشاهده می‌شود برای جریان مشاهداتی با دبی ۴۷ مترمکعب بر ثانیه، پارامترهایی مانند سرعت و عمق جریان در مقاطع مذکور و ابتدا و انتهای بازه مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است.

لازم به ذکر است با توجه به وجود جریان غیر ماندگار و سیلاب‌های کوتاه‌مدت رودخانه، به علت محدودیت زمانی تنها امکان اندازه‌گیری پارامترهای سرعت و عمق جریان در سه مقطع از بازه مورد مطالعه وجود داشت. برای اندازه‌گیری سرعت جریان و عمق آب از دستگاه سرعت‌سنج صوتی Easy QTM و شاخص اندازه‌گیری استفاده شد. این سرعت‌سنج هم‌زمان عمق و سرعت را اندازه‌گیری می‌کند و دارای قابلیت اندازه‌گیری سرعت‌های بالا تا ۱۰ متر بر ثانیه است، دامنه اندازه‌گیری عمق جریان آن بین ۰/۱۵ تا ۱۰ متر و همچنین دامنه گام زمانی اندازه‌گیری آن بین ۱ تا ۱۲۰ ثانیه می‌باشد. برای اندازه‌گیری دقیق سرعت جریان، دستگاه سرعت‌سنج دو بعدی کاملاً داخل جریان آب قرار گرفته و برای این هدف، یک ثبات (مشابه پل تلفریک) نصب و سپس دستگاه

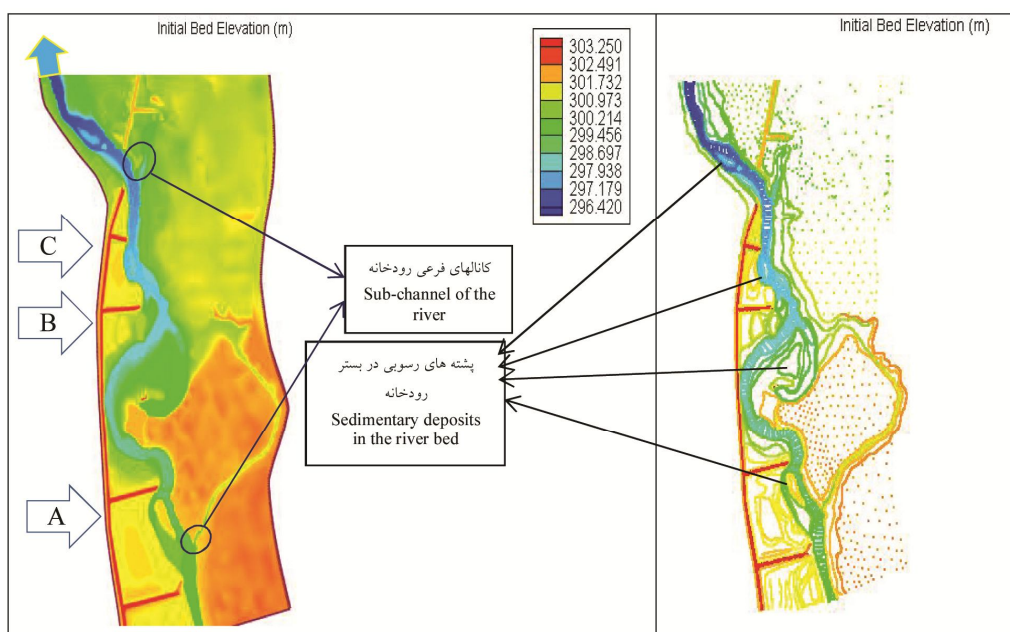
جدول ۱- مقادیر پارامترهای سرعت، عمق و دبی جریان اندازه‌گیری شده در مقاطع مختلف بازه مورد مطالعه.

Table 1. Parameters values of flow velocity, water depth and flow discharge in different sections.

| Debi (m ³ /s) | عمق متوسط Average depth (m) | سرعت متوسط average Velocity (m/s) | سرعت در عمق 0.8 Velocity at depth of 0.8 (m/s) | سرعت در عمق 0.6 Velocity at depth of 0.6 (m/s) | سرعت در عمق 0.4 Velocity at depth of 0.4 (m/s) | سرعت در عمق 0.2 Velocity at depth of 0.2 (m/s) | مقاطع اندازه‌گیری شده Measured sections |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|--|--|--|---|
| 47 | 1.44 | 1.42 | 0.82 | 1.35 | 1.58 | 1.72 | (A) section |
| 47 | 1.48 | 1.52 | 0.93 | 1.42 | 1.66 | 1.58 | (B) section |
| 47 | 1.4 | 1.47 | 0.9 | 1.37 | 1.62 | 1.8 | (C) section |

داده‌های توپوگرافی به محیط نرم‌افزار و تعیین مرزها، محدوده مورد نظر با استفاده از روش‌های جبری و محاسباتی شبکه‌بندی شد. ابعاد بهینه شبکه بر مبنای دقت لازم و زمان اختصاص یافته انجام محاسبات، انتخاب شد (۱۴ و ۱۵).

تولید شبکه محاسباتی در مدل عددی CCHE2D: در مدل CCHE2D برای ساخت هندسه میدان و شبکه‌بندی قلمرو مطالعاتی از یک نرم‌افزار مجزای پیش پردازنده تحت عنوان CCHE-MESH، استفاده شد. طبق پژوهش ژانگ (۲۰۰۹) پس از ورود



شکل ۲- نمای درون یابی ارتفاعی شبکه محاسباتی (Mesh) و مقاطع اندازه گیری پارامترهای جریان (A, B و C) بازه مورد مطالعه.
Figure 2. interpolated of computational grid (Mesh) and Measured sections of water flow parameters (A, B and C).

پارامترها به وجود آید (۷). در اولین مرحله اجرای مدل سازی، با توجه به غیریکنواخت بودن جنس رسوبات در کل بازه و پراکنش متفاوت پوشش گیاهی در کناره ها و کف رودخانه، با تهیه عکس و فیلم از بازه مورد مطالعه و استفاده از معتبرترین منابع محاسباتی هیدرولیک، مانند کتاب چاو و پارامتر ضریب زبری در دامنه (۰/۰۳۴ تا ۰/۰۷۸) با انجام مشاهدات صحرائی برآورد گردید. سپس مقدار ضریب زبری به صورت محاسباتی با استفاده از معادله کاون، در دامنه (۰/۰۳۳ تا ۰/۰۹۷)، به دست آمد. یکی دیگر از پارامترهای مورد واسنجی تعیین ابعاد شبکه محاسباتی است هر چه تعداد گره ها و به تبع آن سلول های ایجاد شده در مقطع عرضی رودخانه بیش تر باشد، شبکه تولید شده و الگوی جریان شبیه سازی شده، دقت بالاتری دارد، این فرآیند باید تا آنجا ادامه یابد که تغییری در خروجی مدل مشاهده

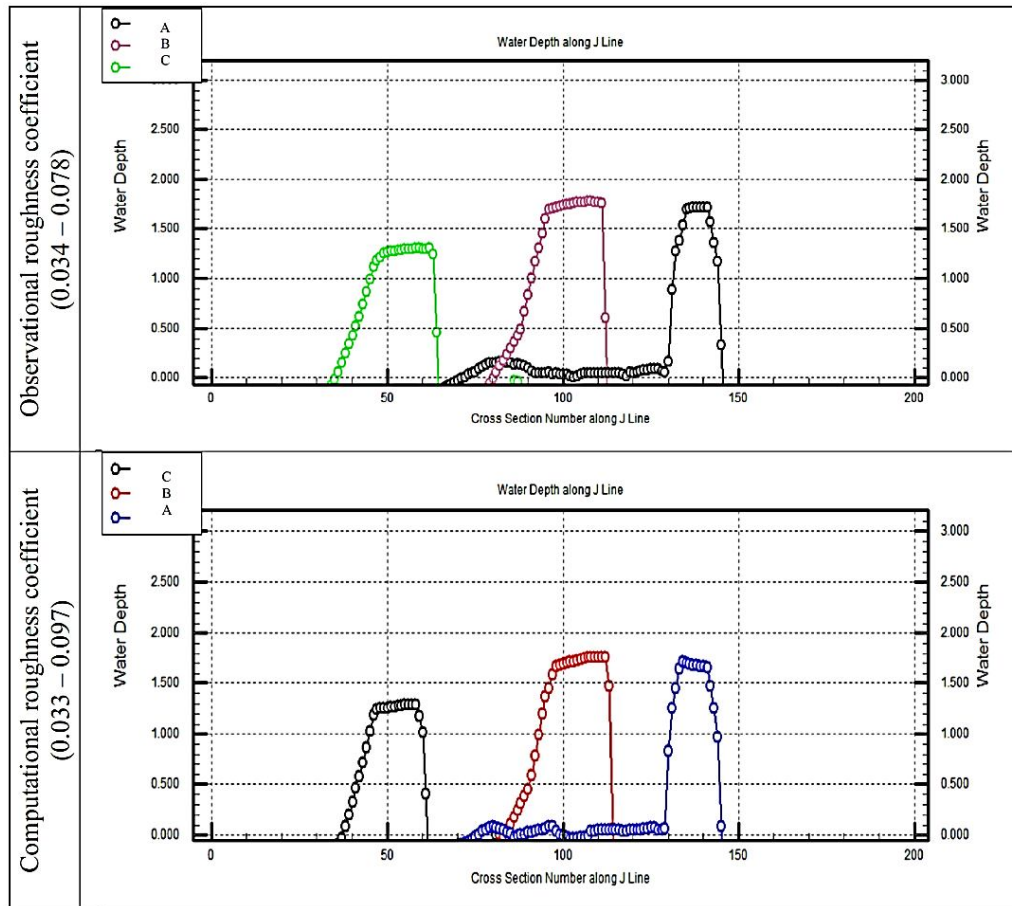
شبیه سازی الگوی جریان: مراحل شبیه سازی الگوی جریان توسط نرم افزار CCHE-GUI به شرح زیر است:

ورود و فراخوانی فایل Geo، تنظیم شرایط اولیه جریان (تراز آب بالادست و پایین دست و ضریب زبری) بر اساس اندازه گیری های انجام شده در جدول ۱، تنظیم پارامترهای جریان (گام زمانی، انتخاب مدل آشفتگی، محاسبه جریان ناپایدار و فرمول محاسبه زبری)، تنظیم شرایط مرزی ورودی و خروجی رودخانه (دبی جریان، تراز سطح آب) و اجرای شبیه سازی (۱۵).

واسنجی مدل عددی CCHE2D: با انجام چندین بار مدل سازی و بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر نتایج مدل، مرحله بعدی واسنجی مدل عددی CCHE2D است تا از طرفی درصد خطای مدل در پیش بینی پارامترها مشخص و از طرف دیگر شرایطی استاندارد در خصوص تنظیمات مدل و اندازه گیری

اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای سرعت جریان (V) و عمق جریان (P)، در حالت تغییر ضریب زبری و تغییر ابعاد شبکه مقایسه شده است. همچنین در شکل ۳، مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای عمق جریان، در حالت تغییر ضریب زبری مقایسه شده است.

نشود (۱۵). برای ریزتر کردن شبکه تولید شده، تعداد I و J ها را از حالت اولیه (۶۰۰ × ۲۴۰) مدل خارج و ریزتر کرده؛ این فرآیند تا آنجایی ادامه داده شد که تغییری در خروجی مدل مشاهده نشود و این در حالتی به دست آمد که ابعاد شبکه محاسباتی (۷۰۰ × ۳۰۰) باشد. در جدول‌های ۲ و ۳، مقادیر



شکل ۳- نمودار مقادیر عمق آب (متر) در سه مقطع نمونه برای ضرایب زبری محاسباتی و مشاهده‌ای.

Figure 3. Graph of velocity changes in sample section three (B, C and D) for observational and computational roughness coefficient.

جدول ۲- مقایسه پارامتر سرعت جریان (m/s) برای ضریب زبری و ابعاد شبکه محاسباتی مختلف.

Table 2. Comparison of flow velocity parameter (m/s) for different roughness coefficient and computational network dimensions.

| مقاطع اندازه‌گیری شده Measured sections | پارامتر سرعت جریان (V) اندازه‌گیری شده Flow Velocity (m/s) | پارامتر سرعت جریان (V) پیش‌بینی شده توسط مدل (m/s) Parameter of flow velocity predicted by model | | | |
|--|---|---|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| | | تعداد پیکسل‌ها در راستای طولی و عرضی (600*240) | | تعداد پیکسل‌ها در راستای طولی و عرضی (700*300) | |
| | | زبری Roughness (0.034 -0.078) | زبری Roughness (0.033 -0.097) | زبری Roughness (0.034 -0.078) | زبری Roughness (0.033 -0.097) |
| | | (A) section | 1.42 | 1.73 | 1.66 |
| (B) section | 1.52 | 1.88 | 1.76 | 1.65 | 1.61 |
| (C) section | 1.47 | 1.61 | 1.54 | 1.51 | 1.42 |

جدول ۳- مقایسه پارامتر عمق جریان (m) برای ضریب زبری و ابعاد شبکه محاسباتی مختلف.

Table 3. Comparison of water depth parameter (m) for different roughness coefficient and computational network dimensions.

| مقاطع اندازه‌گیری شده Measured sections | پارامتر عمق آب (P) اندازه‌گیری شده Flow Depth (m) | پارامتر عمق آب (P) پیش‌بینی شده توسط مدل (m) Parameter of flow Depth predicted by model | | | |
|--|--|--|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| | | تعداد پیکسل‌ها در راستای طولی و عرضی (600*240) | | تعداد پیکسل‌ها در راستای طولی و عرضی (700*300) | |
| | | زبری Roughness (0.034 -0.078) | زبری Roughness (0.033 -0.097) | زبری Roughness (0.034 -0.078) | زبری Roughness (0.033 -0.097) |
| | | (A) section | 1.44 | 1.73 | 1.64 |
| (B) section | 1.48 | 1.78 | 1.72 | 1.77 | 1.6 |
| (C) section | 1.3 | 1.13 | 1.18 | 1.37 | 1.25 |

پارامتر توزیع سرعت جریان، حساسیت زیادی (به‌خصوص در محدوده مقعر قوس رودخانه) به تغییر ابعاد شبکه نشان داده است. ارزیابی کارایی مدل: در ادامه، نتایج به‌دست‌آمده از مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده در طبیعت (در حالت میانگیری شده از داده‌ها) مقایسه شد تا دقت مدل در شبیه‌سازی سرعت، عمق و شیب انرژی آشکار گردد.

همان‌گونه که از جداول و شکل فوق مشاهده می‌شود، نزدیک‌ترین مقادیر پیش‌بینی شده به مشاهدات، مربوط است به شبکه محاسباتی تولید شده با ابعاد (۷۰۰×۳۰۰) و الگوی جریان شبیه‌سازی شده با ضریب زبری در دامنه (۰/۰۳۳ تا ۰/۰۹۷). هم‌چنین با توجه به جداول مذکور و نتایج مدل مشخص گردید تغییرات عمق جریان حساسیت کم‌تری به تغییر ابعاد شبکه محاسباتی دارد، این در حالی است که

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

که در آن، \hat{y}_i مقدار مشاهداتی در طبیعت و \hat{y} مقدار محاسباتی مدل است.

جدول ۴ میزان دقت و کارایی مدل در برآورد پارامترهای سرعت جریان، تراز (عمق) آب و شیب انرژی آورده را نشان می‌دهد.

برای این منظور از دو روش آماری برای ارزیابی دقت مدل استفاده شد. دو روش عبارتند از جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) که روابط آن‌ها به شرح ذیل است (رابطه‌های ۴ و ۵):

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

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

جدول ۴- نتایج مقایسه سرعت جریان، عمق آب و شیب انرژی مشاهداتی و برآوردی با استفاده از مدل k-ε و بر اساس دو معیار آماری RMSE و MAPE.

Table 4. Comparison of velocity, water depth observed and estimated by k-ε model and based on RMSE and MAPE.

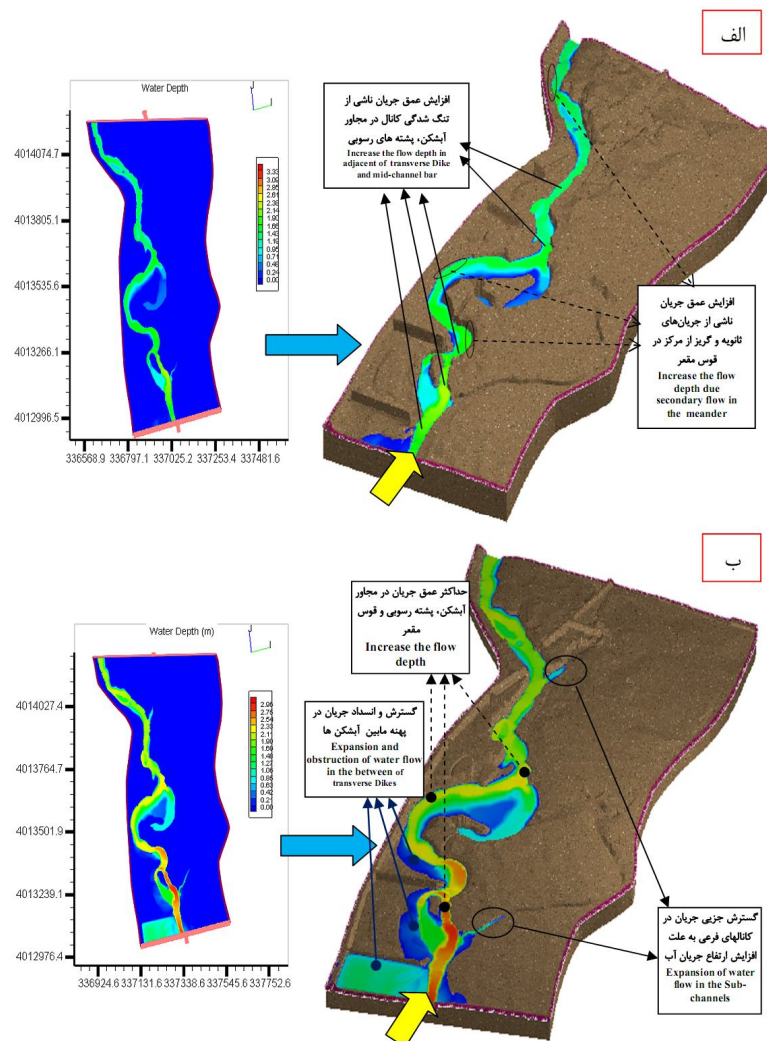
| نوع روش Type of procedure | پارامتر سرعت جریان آب Flow Velocity | پارامتر عمق آب Flow Depth | پارامتر شیب انرژی Energy slope |
|------------------------------|--|------------------------------|-----------------------------------|
| RMSE | 0.075 | 0.116 | 0.0008 |
| MAPE | 0.027 | 0.062 | 0.044 |

بنابراین همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است برای دبی مشاهداتی (۴۷ متر مکعب بر ثانیه) و دبی با دوره بازگشت کم‌تر از ۲۵ سال، آب‌شکن‌ها اثرات موضعی بر انحراف جریان و هم‌چنین جلوگیری از پیشروی جریان رودخانه به کرانه سمت چپ دارند و نمی‌توانند سیل‌های با دوره بازگشت کم‌تر از ۲۵ سال را به سمت ساحل شرقی انحراف دهند چون‌که تراکم بسیار زیاد پوشش گیاهی و ضریب زبری بالا در ساحل شرقی، امکان ورود جریان با دوره بازگشت زیر ۲۵ سال را نمی‌دهد.

نتایج و بحث

با اتمام شبیه‌سازی الگوی جریان با حالت تنظیم‌شده برای مدل CCHE2D با ابعاد ۳۰۰×۷۰۰ و ضریب زبری ۰/۰۳۳ تا ۰/۰۹۷، نتایج پیش‌بینی مدل برای الگوی جریان به شرح زیر است.

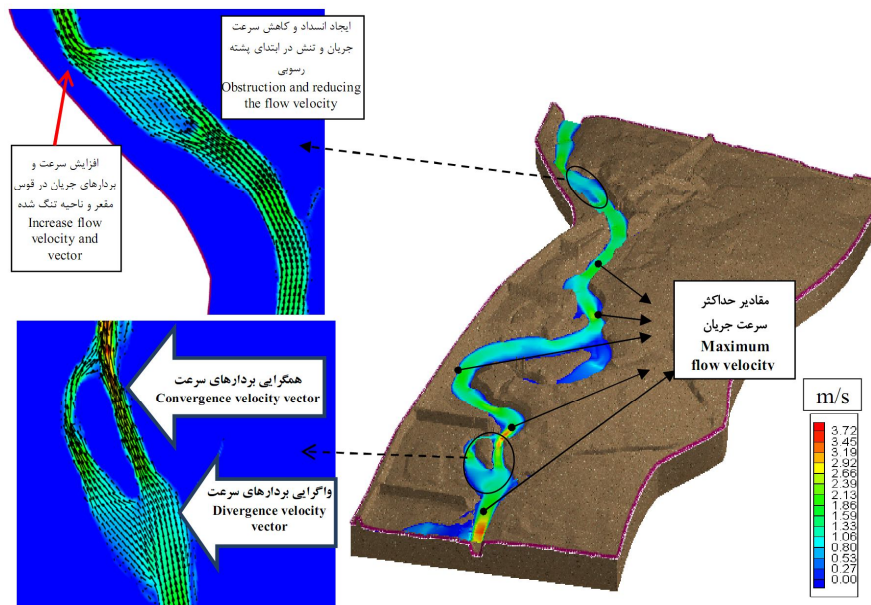
عمق سیلاب: همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده است در کرانه سمت راست دو کانال طبیعی با پوشش تراکم از گونه‌های گیاهی و در ارتفاع بالاتر از بستر اصلی رودخانه قرار گرفته است. هدف از احداث آب‌شکن‌های مورد مطالعه نیز هدایت جریان سیل به ساحل شرقی از طریق این دو کانال طبیعی است.



شکل ۴- تغییرات عمق جریان سیلابی: برای الف) دبی مشاهداتی $47 \text{ m}^3/\text{s}$ ؛ و ب) دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال، $185 \text{ m}^3/\text{s}$.
Figure 4. Distribution of water depth for A) Observational discharge and discharge with a return period of 25 years.

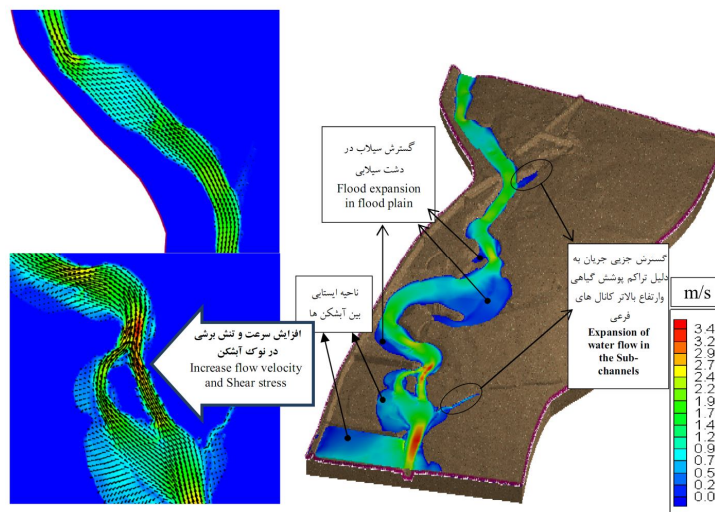
توسعه یافته رسیده و مقادیر سرعت بین دو مقطع تغییر چندانی ندارد. حداکثر سرعت جریان در کل قلمرو جریان نیز در ناحیه بستر اصلی به خصوص قوس مقعر و محدود نوک آب‌شکن‌ها است؛ علت این امر، محدود بودن این ناحیه از رودخانه توسط آب‌شکن‌ها، دیواره‌ها و تراکم و عدم پخش سیلاب در نواحی دشت سیلاب است (شکل‌های ۵ و ۶).

سرعت جریان: در بازه مورد مطالعه تغییرات مقادیر و بردارهای سرعت در طول کانال ناشی از تفاوت ضریب زبری در دشت سیلابی و بستر اصلی و همچنین وجود آب‌شکن‌ها و پشته‌های رسوبی است. تراکم بالای پوشش گیاهی در دشت سیلابی به‌خصوص کرانه سمت راست سبب انسداد و کاهش سرعت جریان شده است. در بستر اصلی به علت کاهش زبری بستر، پروفیل‌های سرعت به حالت



شکل ۵- تغییرات سرعت جریان برای دبی مشاهداتی ۴۷ m³/s

Figure 5. Distribution of flow velocity for observational discharge.



شکل ۶- تغییرات سرعت جریان سیلابی برای دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال ۱۸۵ m³/s

Figure 6. Distribution of flow velocity for discharge with a return period of 25 years.

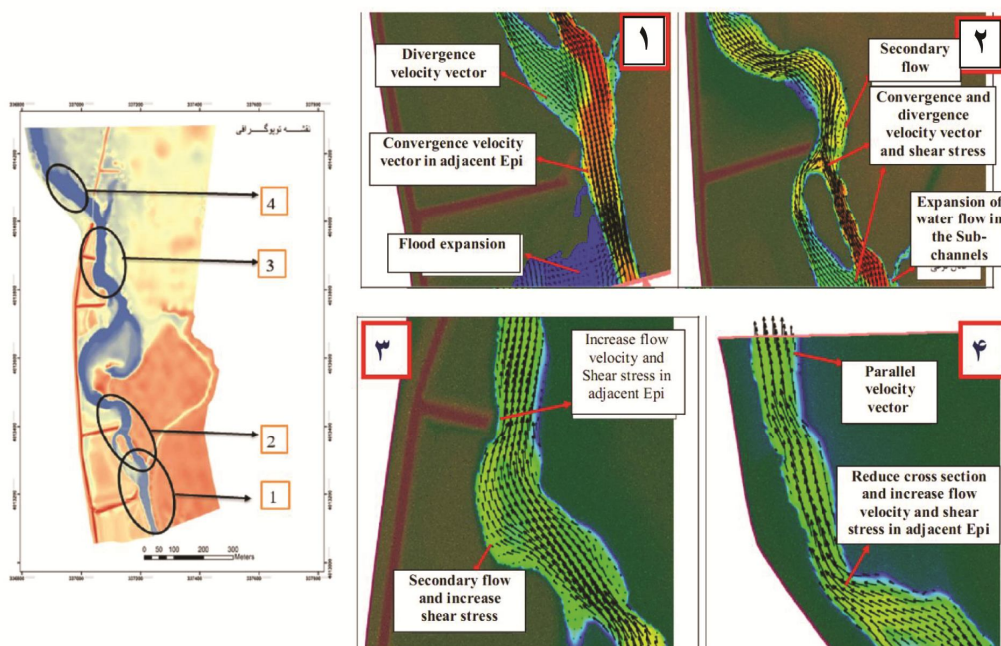
سبب جداشدگی جریان و تشکیل جریان‌های چرخشی شده است. این جریان‌ها با کاهش سطح مقطع عبور جریان، در افزایش سرعت جریان تأثیر می‌گذارند. وجود آب‌شکن‌های انحراف دهنده در مسیر جریان سیلابی بازه مورد مطالعه از دو نظر قابل

شکل‌گیری جریان‌های چرخشی عرضی: در شکل ۷ الگوی بردارهای سرعت به ازای دبی سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال در بازه مطالعاتی را نشان داده شده است. تغییر ناگهانی در هندسه رودخانه مانند وجود آب‌شکن‌های انحراف‌دهنده جریان و پشته‌های رسوبی

صفر نزدیک می‌شود. با کاهش مؤلفه‌های سرعت در نزدیکی جداره‌ها، جدادشدگی جریان اتفاق می‌افتد و جریان‌های چرخابه‌ای شکل می‌گیرند. با افزایش قدرت چرخابه‌ای در اطراف پشته رسوبی و آب‌شکن‌ها، سطح مقطع عبوری جریان کاهش می‌یابد و سرعت جریان به صورت محلی در آن مقطع افزایش می‌یابد. در پایین‌دست آب‌شکن‌ها و پشته‌های رسوبی، بعد از الحاق مجدد جریان، سطح آب افزایش یافته و ناحیه‌ای با بیش‌ترین همگرایی شکل گرفته و جریان آشفته با سرعت و تنش برشی خیلی بالا به سمت پایین‌دست هدایت می‌شود. بنابراین بیش‌ترین تخریب و کنش در این محدوده ایجاد می‌گردد.

بررسی است. ابتدا نقش آب‌شکن‌ها به عنوان یک مانع در برابر جریان هست به طوری که برخورد جریان با آن‌ها منجر به تشکیل ناحیه ایستایی، کاهش سرعت جریان، افزایش تراز سطح آب و نهایتاً منجر به فرآیند رسوب‌گذاری در بالادست این ناحیه شده است. اما در محدوده عرضی بین آب‌شکن و کناره کانال حداکثر تنش برشی و سرعت جریان شکل می‌گیرد.

نکته دیگر، تشکیل المان‌های چرخابه‌ای در اطراف آب‌شکن‌ها و پشته رسوبی است. در این ناحیه با نزدیک شدن جریان به جداره‌های مرزی به‌واسطه وجود جریان‌های لایه‌مرزی در نزدیکی جداره‌های پشته رسوبی و کناره رودخانه، سرعت جریان به مقدار



شکل ۷- تشکیل جریان‌های چرخشی و تغییرات بردار سرعت در محدوده مجاور آب‌شکن، پشته‌های رسوبی و کناره‌های بازه مورد مطالعه.

Figure 7. The formation of rotational flows and velocity variations in the vicinity of the spillway, sedimentary rocks and the edges of the study period.

طبیعی و در مجاور آب‌شکن‌های متناوت و پشته‌های رسوبی شبیه‌سازی گردید و نتایج حاصل از ارزیابی آماری مدل، قابلیت مدل عددی به‌کار رفته را در پیش‌بینی پارامترهای جریان آب تأیید نمود.

نتیجه‌گیری کلی

- در این پژوهش با بهره‌گیری از یک مدل دو بعدی عددی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، به نام CCHE2D، الگوی جریان آب در یک بازه پیچان‌رود

داده‌ها و اطلاعات

آمار و اطلاعات ایستگاه هیدرومتری اشاره در این پژوهش و سایر پارامتر الگوی جریان از جمله عمق و سرعت جریان از شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی گردآوری شده است و نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس با استفاده از نقشه‌برداری زمینی تهیه شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تایید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

در زیر مسئولیت و مشارکت نویسندگان مقاله ارائه شده است.

غلامرضا خسروی: نویسنده مسئول، تدوین و نگارش مقاله، گردآوری آمار و اطلاعات، مرور و بررسی منابع، اجرای نرم‌افزار، تجزیه و تحلیل نتایج پژوهش، نتیجه‌گیری و اصلاحات و مکاتبات با مجله.
عبدالرضا بهره‌مند: راهنمایی در روش پژوهش و تجزیه و تحلیل نتایج.

مهدی تیموری: راهنمایی در روش پژوهش و تجزیه و تحلیل نتایج، گردآوری آمار و اطلاعات.
سجاد احمدیوسفی: گردآوری آمار و اطلاعات، مرور و بررسی منابع.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش توسط پژوهشگران مقاله تامین بودجه شده است و حمایت مالی سازمانی نداشته است.

- به طور کلی آب‌شکن‌ها به صورت موضعی باعث هدایت جریان و جلوگیری از فرسایش کناره‌های و پیشروی مسیر رودخانه به کرانه سمت چپ می‌شود اما با توجه به این‌که هدف از احداث این آب‌شکن‌ها انحراف جریان آب به ساحل شرقی از طریق دو کانال طبیعی شکل ۲ است بنابراین با توجه به تراکم بسیار زیاد پوشش گیاهی و ضریب زبری در ساحل شرقی، امکان ورود جریان با دوره بازگشت زیر ۲۵ سال به ساحل شرقی وجود ندارد.

- برخورد جریان با آب‌شکن‌های انحراف‌دهنده منجر به تشکیل ناحیه ایستایی در بالادست شده است. با تشکیل ناحیه ایستایی، ارتفاع ناشی از سرعت جریان به ارتفاع فشاری تبدیل گشته و سرعت جریان کاهش یافته و در مقابل تراز سطح آب در این ناحیه افزایش یافته است که نهایتاً منجر به فرآیند رسوب‌گذاری در این ناحیه شده است. اما در محدوده عرضی بین آب‌شکن و کناره کانال، حداکثر تنش برشی و سرعت جریان شکل می‌گیرد. بنابراین در این محدوده‌ها توان حمل رسوب و بارکف و آب شستگی بستر زیاد است.

- در پایین‌دست آب‌شکن‌ها و پشته‌های رسوبی، بعد از الحاق مجدد جریان سیلاب، همگرایی الگوی جریان شکل گرفته و ناحیه‌ای با الگوی آشفته و با سرعت و تنش برشی خیلی بالا به سمت پایین‌دست هدایت می‌شود. بنابراین بیش‌ترین تخریب و کنش در این محدوده ایجاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

از جناب آقایان مهندس کاظم صادقیان و مهندس مهدی نجفی که در گردآوری آمار، اطلاعات و منابع علمی پژوهش مساعدت نموده‌اند سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع

1. Abbasi, A.A., and Malek Nejad, M. 2012. Experimental study of the impact of direct permeable spur dike parameters and the T-shaped on the scouring around them. The Iranian Society of Irrigation and Water Engineering, second year, 8p. (In Persian)
2. Alizadeh, A. 2006. Principles of Applied Hydrology, 19th edition, Ferdowsi University of Mashhad. 850p. (In Persian)
3. Dehghani, A., Barzali, M., Fazl-Avali, R., and Mirkhaleq, Z. 2010. Experimental study of local scour around Transverse Dike (L-shaped). Journal of Water and Soil Conservation, 16: 3. 141-162. (In Persian)
4. Jia, Y., Zhang, Y., Wang, S., and Raible, A. 2006. Numerical Simulations of Channel Response to Riverine Structures in Arkansas River, the 7th Int. Conf. on Hydro science and Engineering (ICHE-2006). 10 – Sep. 13, Philadelphia, USA.
5. Karami, H., Ardeshir, A., Behzadian, K., and Ghodsian, M. 2011. Protective spur dike for scour mitigation of existing spur dikes. Journal of Hydraulic Research, 49: 6. 809-813.
6. Khosravi, Gh., Nohegar, A., Khorani, A., Ershadi, S., and Fathi, M. 2013. Simulation of flow and sediment By Model CCHE2D, Journal of Iran Water Research, University of Shahrekord. 12: 3. 203-225. (In Persian)
7. Khosravi, Gh., and Nohegar, A. 2014. A Practical Guide by example functional simulation of flow and sediment transport model CCHE2D, First Edition, Hormozgan, Hormozgan University Press. 380p. (In Persian)
8. Magnuszewski, A. 2015. Influence on flood safety of channel processes and vegetation in the River Vistula valley in Warsaw. In Stochastic Flood Forecasting System. Springer International Publishing. pp. 140-129.
9. Maghrebi, M., Mogdam, E., and Meshki Kakhaki, M. 2010. Numerical simulation of turbulent flow pattern over the islands in the river sediment arterial CCHE2D model (case study: River sarbaz). Tehran, Iran Hydraulics Conference, Iranian Hydraulic Association, Tarbiat Modarres University. (In Persian)
10. Nassar, M.A. 2011. Multi-parametric sensitivity analysis of CCHE2D for channel flow simulations in Nile River. Journal of hydro-environment research, 5: 3. 187-195.
11. Saneie, M. 2006. Laboratory evaluation of the effect of blockage on local scouring of spur dike. 7th International Conference on River Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz. (In Persian)
12. Telvari, E. 2004. Basic Principles of River Engineering and Management, Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Watershed Publishing, 446p. (In Persian)
13. Torabizadeh, A., and Bina, M. 2011. "Transverse Dike hydraulic assessment and its impact on the river Zoherh by "MIKE11 Model" eighth International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)
14. Wu, W. 2009. CCHE2D Sediment Transport Model (Version 2.1). Tech Report No. NCCHE- TR- 2001-3. NCCHE, University of Mississippi.
15. 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, 386p.



Numerical Simulation of Transverse Dikes and Point Bars effect on Flow Pattern in Natural Meandering of the Tajan River

Gh.R. Khosravi^{*1}, A. Bahremand², M. Teimouri³ and S. Ahmadyousefi⁴

¹Ph.D. Graduate, Dept. of Watershed Management Science and Engineering,
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran,

²Associate Prof., Dept. of Watershed Management Science and Engineering,
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran,

³Assistant Prof., Dept. of Watershed Management Science and Engineering,
Higher Education Complex of Shirvan, Iran,

⁴Ph.D. Student of Watershed Management Science and Engineering,
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 06.10.2017; Accepted: 05.08.2021

Abstract

Background and Objectives: The transverse dikes (epi) has many applications for river bank erodibility stabilization and consolidation. Water flow pattern, erosion and sedimentation around the transverse dike depend on various factors, such as transverse dike type, geometry sections, sediment transport capacity and etc. In this research, a two-dimensional numerical model called CCHE2D was used for numerical simulation of transverse dikes and point bars' effect on flow pattern in a reach of Tajan River (located in the North of Sarakhs and downstream of Noruzababd village- Razavi Khorasan Province of Iran).

Materials and Methods: In the first step of this study, a detailed topographic map was prepared with scale of 1: 2000. Then in three surveyed sections, the flow parameters were measured while the greatest emphasis was on the area around the transverse dikes and river islands (point bars). Using topographic data obtained from field surveys and then the geometry model and the computational mesh (grid) with different dimensions and also field measurements of flow characteristics such as velocity and depth, the two-dimensional hydrodynamic model was run. The simulated values were compared with the observed ones in order to assess the velocity horizontal profile gradients, the distribution of shear stress and the flow depth condition in curved parts of the river channel and around the transverse dikes and river islands. Furthermore, two statistical criteria (RMSE and MAPE) were used to evaluate the performance of the model.

Results: The results of this study indicate the appropriate accuracy of the model in predicting flow parameters in around the transverse dikes and river islands. This model also accurately displays the positions of maximum flow shear stress in the river bed and banks. The simulation results of this study also showed that the rotational vectors of the upstream water flow of the transverse dikes are larger than the downstream ones. On the other hand, the amount of velocity and shear stress in the downstream area of the transverse dikes is higher than their upstream and the flow velocity decreases by moving downstream of the transverse dikes.

* Corresponding Author; Email: gholamreza.khosravi@yahoo.com

Conclusion: The results of this study show that for the observed discharge of 47 m³/s and discharges with a return period of less than 25 years, the transverse dikes have local effects on the deviation of the flow, and they cannot lead to the diversion of floods with a return period of less than 25 years to the eastern banks. Because the high density of vegetation and high roughness of the east coast prevents the distribution of flow to the natural channels.

Keywords: CCHE2D, Meandering, Point Bars, Tajan River, Transverse Dike (Epi)

