

مدل‌سازی تأثیر آب‌شکن‌های رودخانه‌ای در کنترل فرسایش ساحل با مدل دوبعدی CCHE2D

محمد تاج‌بخش^{۱*} و سید حبیب موسوی جهرمی^۲

چکیده

هدف از این مطالعه به‌کارگیری یک مدل هیدرودینامیک دوبعدی برای پیش‌بینی و پایش فرایندهای حاکم بر جریان، انتقال رسوب و حفاظت ساحل در یک پیچان‌رود طبیعی است. محدوده مورد مطالعه بخشی از رودخانه کارون با طول در حدود ۵ کیلومتر در حد فاصل ایستگاه‌های آب‌سنجی اهواز و فارسیات است. حفاظت ساحل در پیچان‌رود موردنظر به‌دلیل همسایگی با اراضی کشاورزی و تأسیسات سازمان آب و برق خوزستان مهم است. در این پژوهش ابتدا با مدل CCHE-MESH شبکه محاسباتی تشکیل شد و در ادامه مدل دوبعدی CCHE2D پس از صحت‌سنجی برای شبیه‌سازی الگوی جریان، پیش‌بینی تغییرات بستر و ساحل در یک دوره زمانی ۲۰ ساله استفاده شد. نتایج نشان داد خط‌القعر پیچان‌رود بین ۴ تا ۸ و به‌طور متوسط ۵/۷ متر نسبت به شرایط اولیه عمیق‌تر شده و به‌دلیل حضور جریان حلزونی عمق بستر در محل قوس خارجی افزایش بیشتری دارد. از آنجا که یکی از سازه‌های مهم برای حفاظت دیواره‌های رودخانه آب‌شکن‌های رودخانه‌ای هستند، برای پیچان‌رود مورد مطالعه ۱۴ عدد آب‌شکن پس از طراحی در مدل CCHE2D جانمایی شد. حضور آب‌شکن‌ها در دوره ۲۰ ساله سبب افزایش رقوم بستر در محل ساحل خارجی بین ۱ تا ۹ و به‌طور متوسط ۴/۷ متر (در مقایسه با حالتی که آب‌شکن‌ها حضور ندارند) شد اما خط‌القعر را در برخی مقاطع تا حدود ۴ متر عمیق‌تر کرد.

واژه‌های کلیدی: پیچان‌رود، رودخانه کارون، سازه آب‌شکن، مدل عددی.

ارجاع: تاج‌بخش م. و موسوی جهرمی س. ح. ۱۳۹۴. مدل‌سازی تأثیر آب‌شکن‌های رودخانه‌ای در کنترل فرسایش ساحل با مدل دوبعدی CCHE2D. مجله پژوهش آب ایران. ۱۷:۷۹-۸۹.

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

* نویسنده مسئول: tajbakhsh_md@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۱۳

مقدمه

مدل عددی شبیه‌سازی شده است. وو و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل عددی سه‌بعدی را برای شبیه‌سازی الگوی جریان، حمل رسوب و تغییر شکل بستر در پیچان‌رودهای آبرفتی ارائه کردند. برای ارزیابی دقت مدل نیز، دو آزمایش انجام شد. مدل ابتدا برای موقعیت جریان در کانال‌های تثبیت شده آزمایش شد، سپس برای محاسبه الگوی جریان و حمل رسوب در یک کانال منحنی با قوس و بستر متحرک به طول حدود ۱۲ کیلومتر از رودخانه راین بکار برده شد. نتایج نشان دادند که در تمام موردهای بالا، پیش‌بینی‌های مدل به طور معمول مطلوب است. در سال ۲۰۱۱ پژوهشی توسط اندرز و همکاران در کشور لهستان با هدف بررسی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه بیالکا قبل و بعد از دو سیلاب بزرگ انجام شد. با جمع‌آوری مؤلفه‌های موردنیاز، مدل‌سازی رودخانه برای سیلاب‌های مذکور با مدل CCHE2D انجام شد. نتیجه مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بر دقت بالای مدل در تخمین تغییرات بستر رودخانه تأکید دارد (اندرز و همکاران، ۲۰۱۱).

آب‌شکن‌ها سازه‌های متقاطع یا عرضی هستند که از دیواره طبیعی رودخانه با طول مناسب و با زاویه مناسبی نسبت به راستای عمومی جریان توسعه یافته، سبب انحراف حمله جریان از کناره‌ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می‌کنند. با انحراف جریان، کناره رودخانه در حدفاصل دیواره‌های طبیعی موجود با مرز راستای اصلاح شده به تدریج با ته‌نشینی رسوبات توسعه یافته و با استقرار پوشش گیاهی در درازمدت تثبیت می‌شود. آب‌شکن‌ها به دو نوع صلب و نفوذپذیر تقسیم شدند، ولی ساختار و کارکرد هیدرولیکی این دو به طور کامل متفاوت است.

هدف از این پژوهش پیش‌بینی تغییرات بستر و ساحل بخشی از رودخانه کارون در پیچان‌رود تحت تأثیر جریان‌های حلزونی در یک دوره زمانی ۲۰ ساله و شبیه‌سازی تأثیر استفاده از آب‌شکن‌های رودخانه‌ای در حفاظت دیواره‌های رودخانه و ساحل‌سازی است. بدین منظور ابتدا توسط مدل CCHE-MESH (نسخه ۳) شبکه محاسباتی ایجاد شد و در ادامه برای حل شبکه جریان مدل دوبعدی CCHE2D (نسخه ۳/۲۶) پس از صحت‌سنجی استفاده شد.

مطالعات مهندسی رودخانه نیازمند تحلیل‌های هیدرودینامیکی و انتقال رسوب است. برای پروژه‌های به نسبت ساده، مدل‌های کامپیوتری که بر پایه تحلیل هیدرولیک و انتقال رسوب تعدادی از مقاطع عرضی هستند اطلاعات مناسبی برای تصمیم‌گیری‌های مهندسی می‌دهند اما برای آبراهه‌های فرسایشی پیچیده که شامل پلان، ریخت‌شناسی و ترکیبات متنوعی از مواد بستر هستند، استفاده از مدل‌های هیدرودینامیکی چندبعدی انتقال رسوب برای ارزیابی کوتاه‌مدت و بلندمدت رودخانه ضروری است.

به‌تازگی استفاده از مدل‌های عددی در شبیه‌سازی رودخانه‌ای به‌صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود؛ به‌عنوان مثال؛ جیا و وانگ (۲۰۰۱) گزارشی در رابطه با مقایسه نتایج مدل CCHE2D با نتایج حاصل از مدل‌های فیزیکی ارائه کردند. ایشان مدل CCHE2D را در مقطع با بستر صلب و آبرفتی در اطراف آب‌شکن در انقباض و انبساط‌های ناگهانی و کانال با مقطع مرکب و قوس با زاویه‌های مرکزی مختلف و ... ارزیابی کردند. ایشان در شرایط واقعی نیز مدل را برای رودخانه‌های نیچر در کشور آلمان و رودخانه می‌سی‌سی‌پی در کشور آمریکا صحت‌سنجی کردند که در تمام موردهای بالا دقت مدل CCHE2D تأیید شد. پژوهش جامعی نیز توسط مرکز توسعه و تحقیقات مهندسی بر روی مدل‌های دوبعدی رودخانه با هدف ارزیابی قابلیت مدل در پیش‌بینی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه و همچنین توانایی در ارزیابی تأثیر کوتاه‌مدت و بلندمدت سازه‌های هیدرولیکی به ویژه آب‌شکن‌ها انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد مدل^۱ NCCHE بالاترین توانایی را در شبیه‌سازی جریان و ریخت‌شناسی رودخانه دارد (اسکات و جیا، ۲۰۰۱). مین‌دوک و همکاران (۲۰۰۴) یک مدل دوبعدی عمق میانگین را برای جریان ناپایدار در رودخانه‌های با هندسه نامنظم توسعه دادند. ایشان از معادله پیوستگی و اندازه حرکت و معادله آشفستگی $k-\epsilon$ در سیستم مختصات منحنی استفاده کردند. معادلات به‌روشن حجم محدود حل شد و مدل عددی بر روی رودخانه راین آزمایش شد. نتایج نشان داد که اثر آب‌شکن‌ها بر روی توزیع سرعت، به‌خوبی با

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کارون پرآب‌ترین رودخانه ایران با دبی متوسط ۷۳۶ مترمکعب بر ثانیه و آورد سالانه جریان حدود ۲۴ میلیارد مترمکعب با ۸۹۰ کیلومتر طول پس از کرخه طویل‌ترین رودخانه ایران است (دلفی و همکاران، ۲۰۱۰). حوضه آبریز رودخانه کارون با مساحتی معادل ۴۲۷۵۴ کیلومترمربع یکی از وسیع‌ترین حوضه‌های آبریز کشور است. این رودخانه منبع اصلی تأمین آب شرب، کشاورزی شهرها و روستاهای مسیر خود بوده و تأمین انرژی برق قسمت‌های عمده فلات مرکزی ایران و دشت خوزستان را

نیز بر عهده دارد. محدوده مورد مطالعه شامل پیچان رودی به طول ۴۵۷۵ متر از رودخانه کارون در فاصله ایستگاه‌های آب‌سنجی اهواز و فارسیات بوده که از مختصات $E 15^{\circ} 36' 48''$ طول و $N 31^{\circ} 14' 38.7''$ عرض جغرافیایی شروع و در $E 48^{\circ} 34' 44.1''$ طول و $N 31^{\circ} 14' 25.8''$ عرض جغرافیایی خاتمه می‌یابد. عرض متوسط مقطع حدود ۲۰۰ متر و عمق آن تا ۱۵ متر می‌رسد. حفاظت ساحل در این بخش از رودخانه کارون به دلیل همسایگی با اراضی کشاورزی و تأسیسات سازمان آب و برق خوزستان مهم است. در شکل ۱ تصویر هوایی از منطقه و مقاطع عرضی مورداستفاده نشان داده شده است.



شکل ۱ تصویر هوایی از رودخانه و مقاطع عرضی

الگوی جریان در قوس

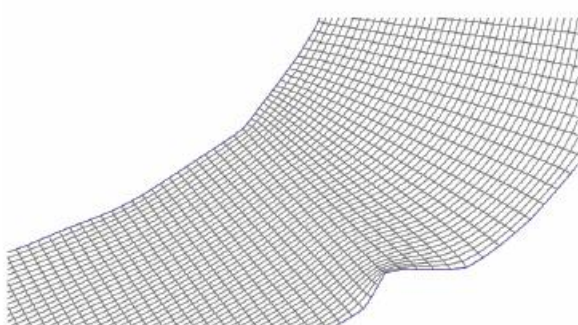
با ورود جریان به داخل قوس، نیروی گریز از مرکز سبب حرکت جریان به سمت قوس خارجی، کاهش سطح آب و در نتیجه افزایش سرعت جریان در قوس داخلی می‌شود که نتیجه آن تشکیل منطقه حداکثر سرعت در ابتدای قوس در نزدیکی قوس داخلی است. به سمت مرکز قوس به دلیل حضور نیروی گریز از مرکز، اختلاف تراز سطح آب ایجاد می‌شود. برای هر المان عمودی از جریان نیروی ناشی از اختلاف تراز سطح آب در عمق مقدار ثابتی است، ولی از آنجا که سرعت در لایه‌های سطحی بیشتر است، نیروی گریز از مرکز در مجاور سطح بیشترین مقدار را داشته و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. نیروی ناشی از اختلاف تراز سطح آب در مجاورت بستر و نیروی گریز از مرکز در مجاور سطح سبب ایجاد جریان چرخشی

(ثانویه^۲) در قوس می‌شود. تداخل جریان چرخشی با جریان طولی جریان حلزونی را ایجاد کرده که این جریان سبب انتقال رسوب از قوس خارجی به سمت قوس داخلی می‌شود. از آنجا که به دلیل سرعت طولی بیشتر در لایه‌های سطحی جریان، اثر نیروی گریز از مرکز در مجاور سطح بیشتر خواهد بود، این نیرو موجب رانده شدن محور حداکثر سرعت طولی به سمت قوس خارجی می‌شود. پس در ناحیه به نسبت وسیعی از عرض در مجاور قوس داخلی سرعت مقدار کمی بوده که عامل رسوب‌گذاری در قوس داخلی است (ادگارد، ۱۹۸۱).

معرفی مدل CCHE2D

مدل CCHE2D مدل هیدرودینامیک و انتقال رسوب در شبکه‌های آبراهه‌ای است که در سال ۱۹۹۷ توسط مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی محاسباتی دانشکده

شبکه‌بندی بهینه خواهد بود. با توجه به دو مؤلفه بالا ابعاد شبکه $I=48 \times J=550$ در نظر گرفته شد. طبق شبکه‌بندی انجام شده متوسط فاکتورهای ارزیابی شبکه شامل متوسط انحراف از قائم^۶ و متوسط نسبت طول به عرض^۷ به ترتیب ۴ و ۱/۶ به دست آمد که هر دو معیار طبق راهنمای مدل خوب هستند (ژانگ، ۲۰۰۶). با معرفی اطلاعات مربوط به مقاطع عرضی به مدل CCHE-MESH، این مدل با الگوریتم میان‌یابی مثلثی^۸ رقوم اولیه بستر رودخانه را به دست می‌آورد. شکل ۲ نمایی از شبکه‌بندی تولید شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲ شبکه‌بندی بخشی از مسیر رودخانه در مدل CCHE-MESH

اطلاعات مورد نیاز شبیه‌سازی

مؤلفه‌های هیدرولیکی جریان شامل نوع مدل آشفتگی، مدت شبیه‌سازی و گام زمانی، زبری بستر، شرایط اولیه جریان، همچنین مؤلفه‌های رسوب شامل کلاس‌بندی اندازه رسوبات بستر، مدل شبیه‌سازی انتقال رسوبات، وزن مخصوص رسوبات و ... است. در این مطالعه از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استفاده و گام زمانی شبیه‌سازی ۱۰ ثانیه فرض شد همچنین با توجه به مطالعات انجام شده در محدوده مورد نظر ادیب (۲۰۱۰) ضریب زبری مایننگ را بین ۰/۰۲۲ تا ۰/۰۳ و دلفی و همکاران (۲۰۱۰) نیز آن را معادل ۰/۰۲۷۵ پیشنهاد کردند (ادیب، ۲۰۱۰ و دلفی و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به موارد ذکر شده ضریب زبری مایننگ معادل ۰/۰۳ به مدل معرفی شد.

فنی دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا توسعه یافت. این مدل به روش انتقال غیرمتبادل قابلیت حل هم‌زمان معادلات رسوب و جریان، انتقال رسوبات غیریکنواخت و تخمین تغییرات بستر، آنالیز پایداری شیب‌های جانبی آبراه‌ها و همچنین روندیابی انتقال رسوب برای مطالعات بلندمدت و کوتاه‌مدت را دارد. ساخت هندسه و شبکه‌بندی میدان در یک نرم‌افزار مجزا تحت عنوان CCHE-MESH انجام می‌شود و حل میدان جریان، انتقال رسوب و مشاهده نتایج در محیط گرافیکی نرم‌افزار CCHE2D انجام می‌شود. مدل شبکه‌بندی با قابلیت تولید شبکه، محیطی ایجاد می‌کند که معادلات آب و رسوب به کار رفته در مدل CCHE2D بتوانند طبق روش عددی المان‌های محدود گسسته شوند. مدل CCHE2D یک مدل دوبعدی متوسط عمقی بوده که در آن شبیه‌سازی جریان براساس حل معادلات متوسط عمقی ناویر-استوکس است. تنش برشی متلاطم با استفاده از تخمین بوزینسک محاسبه می‌شود و برای محاسبه لزجت گردابه‌ای متلاطم از دو مدل صفر معادله‌ای طول اختلاط^۱ و توزیع سهموی لزجت گردابه‌ای^۲ و مدل دوبعدی $k-\epsilon$ ^۳ بهره می‌برد. مجموعه معادلات حاصله به صورت ضمنی با روش حجم کنترل و عناصر مؤثر^۴ حل می‌شوند. شبیه‌سازی جریان رسوب نیز با مدل‌های انتقال غیرتعادلی^۵ انجام می‌شود. از سه روش انتقال مختلف برای شبیه‌سازی بار بستر، بار معلق و بار کل استفاده می‌شود. در این قسمت معادلات انتقال بار بستر، بار معلق و معادله تغییرات تراز بستر به کار گرفته شده است. این معادلات به روش عناصر مؤثر یا تفاضل‌های نمایی حل می‌شوند (ژانگ، ۲۰۰۶). این مدل برای برآورد میزان انتقال رسوبات از چهار مدل SEDTRA، انگلوند هانسن اصلاح شده، ایگر وایت اصلاح شده و معادله وو (۲۰۰۱) بهره می‌برد. همچنین برای تخمین نرخ فرسایش ساحل از دو روش تورن و هانسون استفاده می‌کند (وو، ۲۰۰۱).

تولید و تنظیم شبکه‌بندی میدان حل

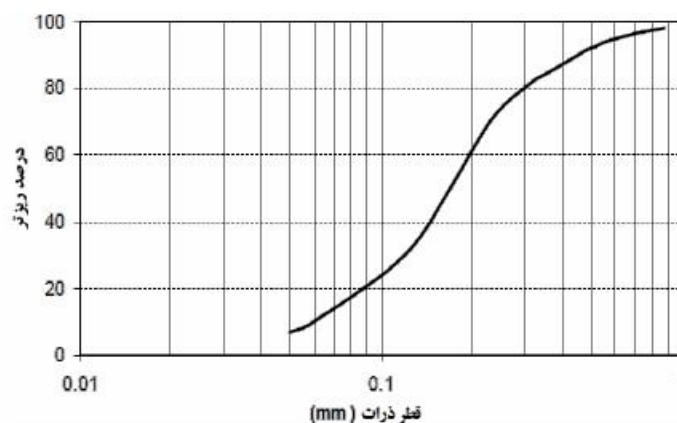
زمان اجرای محاسبات و میزان هماهنگی نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مشاهده‌ها، دو عامل مهم در انتخاب

6- Averaged Deviation from Orthogonality
7- Averaged grid Aspect Ratio
8- Triangulation interpolation

1- Depth integrated mixing length eddy viscosity
2- Depth integrated parabolic eddy viscosity
3- Two-dimensional $k-\epsilon$ model for depth-integrated flow
4- Efficient element method
5- Non-equilibrium process of sediment transport

دانه‌بندی به پنج بازه مساوی تقسیم و برای هر بازه متوسط قطر ذرات معادل ۰/۰۷، ۰/۰۹، ۰/۱۳، ۰/۲۳ و ۱/۱۵ میلی‌متر به مدل معرفی شد.

منحنی دانه‌بندی ذرات بستر رودخانه کارون در محدوده مورد مطالعه از نتایج مطالعات حسن‌آبادی و همکاران (۱۳۸۹) استخراج شد (شکل ۳). بر این اساس، منحنی



شکل ۳ منحنی دانه‌بندی ذرات بستر محدوده مورد مطالعه (حسن‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۹)

$$\%RE = \frac{x_o - x_s}{x_o} \times 100 \quad (1)$$

در معادله فوق RE خطای نسبی، x_o و x_s به ترتیب مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده عمق یا سرعت جریان است.

طراحی آب‌شکن‌های رودخانه‌ای^۲

ساماندهی رودخانه عبارت از بهبود سامانه رودخانه در یک بازه معین شامل مقطع اصلی و دو سمت ساحلی رودخانه با هدف‌های چندمنظوره و تلفیقی از کاربرد روش‌های مختلف است. حفاظت و تثبیت دیواره‌های رودخانه به طور کلی شامل آرام‌کننده‌ها و انحراف دهنده‌های جریان است که آب‌شکن‌های رودخانه‌ای از نوع انحراف دهنده‌ها هستند (پرداک، ۲۰۰۲).

مؤلفه‌های طراحی آب‌شکن تابعی از عرض متوسط سطح آب در دبی لبریز (در حدود دو ساله) است (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). با استفاده آمار هیدروگراف سیلاب‌های رخ داده در منطقه و با کمک مدل‌های هیدرولوژیکی دبی دو ساله در رودخانه کارون ۲۴۰۰ مترمکعب بر ثانیه است (ایدر، ۱۳۷۷) و با مدل CCHE2D عرض متوسط سطح آب در دبی دوساله ۲۱۵ متر به دست آمد.

انتخاب گزینه مناسب شکل آب‌شکن: شکل انتخابی آب‌شکن بستگی به هدایت جریان رودخانه در راستای

از اطلاعات مهم دیگر شرایط مرزی جریان و رسوب است؛ از روندیابی هیدروگراف روزانه موجود در ایستگاه اهواز در محل ورودی پیچان‌رود به‌عنوان شرط مرزی ورودی و به‌دلیل در دست نداشتن منحنی دبی-اشل در پایین‌دست از شرایط مرزی باز^۱ در خروجی استفاده شد، در این حالت مدل عمق جریان را با موج سینماتیک در خروجی تخمین می‌زند (ژانگ، ۲۰۰۶).

شرایط مرزی رسوب در محل ورودی و خروجی پیچان‌رود با توجه به معادله سنجه رسوب متعلق به ایستگاه‌های اهواز و فارسیات به مدل معرفی شد. با توجه به مطالعات شوریان و همکاران (۱۳۸۸) که بر پایه اندازه‌گیری بار بستر و بار معلق براساس روابط انجام شد، در ایستگاه‌های اهواز و فارسیات به‌ترتیب برای بار معلق معادلات $Q_s = 0.116Q^{2.19}$ و $Q_s = 0.007Q^{2.24}$ و برای بار بستر معادلات $Q_{sb} = 0.0084Q^{6.23}$ و $Q_{sb} = 0.00002Q^{23.762}$ استفاده شد. در معادلات فوق Q بده جریان برحسب مترمکعب بر ثانیه، Q_s بده رسوب معلق و Q_{sb} بده رسوب بستر برحسب تن در روز است.

صحت‌سنجی مدل توسط مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده‌ی سرعت طولی و عمق جریان با کمک معیار عملکرد خطای نسبی (RE) انجام شد. مقادیر اندازه‌گیری شده از مطالعات سازمان آب و برق خوزستان در دبی نرمال برای مقطع ۵ در شکل ۱ به دست آمد.

فاصله آب‌شکن‌ها: فاصله بین آب‌شکن‌ها بستگی به هدف‌های ساماندهی، عرض بازه رودخانه، راستای رودخانه (مستقیم یا پیچ)، شدت انحنای پیچ رودخانه، سمت ساحلی پیچ رودخانه (پیچ خارجی یا داخلی)، طول مؤثر آب‌شکن‌ها، نوع آب‌شکن، شکل ظاهری آب‌شکن در پلان و شکل مقطع عرضی آب‌شکن دارد. فاصله بین آب‌شکن‌ها به طور عموم به صورت ضریبی از طول آب‌شکن بیان می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). با توجه به رقم‌های موجود در منابع مختلف (کوپلند، ۱۹۸۳؛ پترسن، ۱۹۸۶؛ سوزوکی و همکاران، ۱۹۸۷ و مازا الوارز، ۱۹۸۹)، نسبت فاصله به طول آب‌شکن برابر ۴ متر، فاصله بین آب‌شکن‌ها ۲۰۰ متر و با توجه به شرایط قوس ۱۴ عدد آب‌شکن در نظر گرفته شد و خصوصیات آن‌ها به مدل CCHE2D معرفی شد.

نتایج و بحث

مقاطع عرضی برداشت‌شده (شکل ۱) به مدل شبکه‌بندی معرفی و رقوم اولیه بستر رودخانه با الگوریتم میان‌یابی مثلثی به شکل ۴ به دست آمد.

در ادامه با معرفی مؤلفه‌های هیدرولیکی جریان به مدل CCHE2D شبیه‌سازی انجام شد. شکل ۵ خط‌های هم سرعت جریان را نشان می‌دهد. منطقه حداکثر سرعت در ابتدای قوس در نزدیکی قوس داخلی بوده اما به دلیل حضور نیروی گریز از مرکز در ادامه مسیر به سمت قوس خارجی رانده می‌شود.

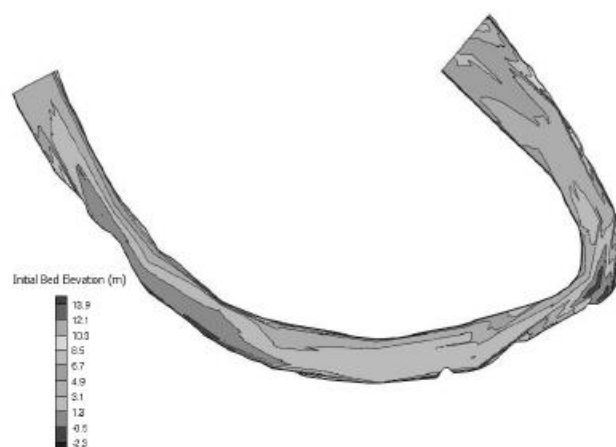
برای مقطع ۵ (شکل‌های ۱ و ۵)، عمق و سرعت اندازه‌گیری شده در مرکز رودخانه به ترتیب $1.0/2$ m و $0.7/6$ m/s و مقادیر متناظر به دست‌آمده از شبیه‌سازی $9/52$ m و $0.6/9$ m/s است. نتایج بر متوسط خطای نسبی $6/7\%$ در عمق و $9/2\%$ در سرعت جریان دلالت دارد، با توجه به عددهای به دست آمده می‌توان دقت مدل در شبیه‌سازی الگوی جریان را خوب دانست.

شکل ۶ تغییر بستر پیمان‌رود را پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی نشان می‌دهد، برای ۱۱ مقطع شکل ۱ مقایسه رقوم بستر پس از شبیه‌سازی با رقوم اولیه نشان‌دهنده عمیق‌تر شدن خط‌القعر بین ۴ (در مقاطع ۷ و ۹) تا ۸ متر (در مقطع ۳) و به طور متوسط $5/7$ متر است. به دلیل حضور جریان حلزونی عمق بستر در محل قوس خارجی افزایش بیشتری داشته است.

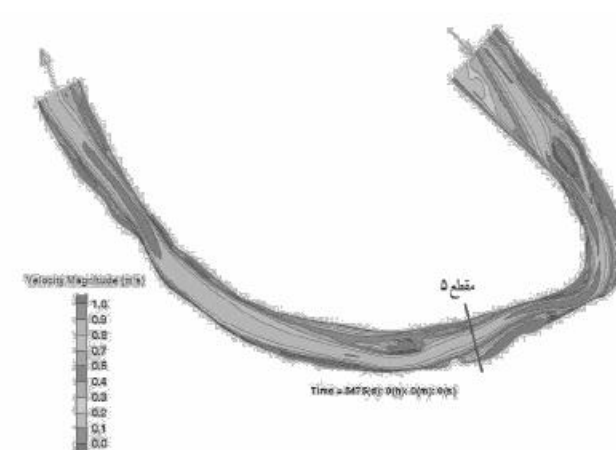
موردنظر و قضاوت مهندسی دارد. با توجه به اینکه بیشتر اطلاعات تئوری و تجربی موجود در زمینه طراحی، کارکرد و آبشستگی آب‌شکن‌های نوع مستقیم و ساده است؛ شکل ظاهری آب‌شکن مستقیم در نظر گرفته شد.

امتداد آب‌شکن نسبت به راستای عمومی جریان: آب‌شکن‌ها از نظر آرایش زاویه قرارگیری در رودخانه و تأثیر آن‌ها بر روی جریان رودخانه‌ای، به سه نوع عمودی، جاذب و دافع تقسیم می‌شوند. آب‌شکن‌های جاذب از نظر سازه‌ای، به سمت پایین‌دست جریان رودخانه متمایل بوده جریان را به سمت خود جذب و مانع از انحراف جریان به سمت دیواره مقابل می‌شوند. برخلاف آن آب‌شکن‌های دافع به سمت بالادست جریان متمایل بوده و جریان را با قدرت از کناره رودخانه و آب‌شکن دور کرده و سبب انحراف شدید جریان به سمت دیواره مقابل می‌شوند. زاویه تمایل آب‌شکن‌های جاذب و دافع از راستای عمود بین 10° تا 20° درجه پیشنهاد شده است. آب‌شکن‌های عمودی نیز، عمود بر راستای عمومی جریان رودخانه یا دیواره‌ها احداث شده و سبب تغییر برای جریان از سمت کناره رودخانه شده و همچنین مانع از انحراف شدید جریان به سمت دیواره مقابل می‌شوند. به طور کلی از نظر انحراف جریان و رسوب‌گذاری آب‌شکن‌های دافع بهتر عمل می‌کنند اما از نظر سازه‌ای آب‌شکن‌های جاذب پایدارترند و آب‌شکن‌های عمودی نیز حد واسط دو نوع فوق هستند (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). به همین دلیل در این مطالعه از آب‌شکن‌های عمودی استفاده شده است.

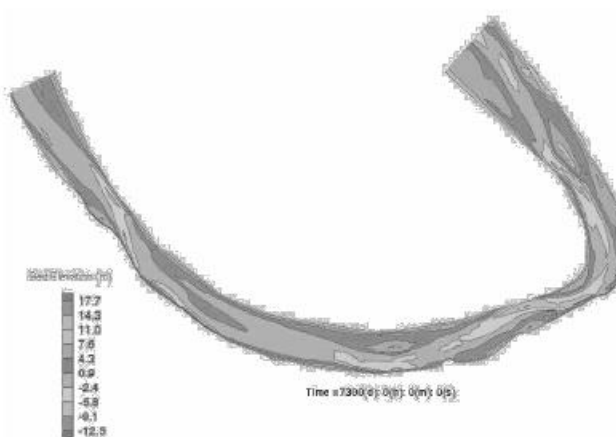
طول آب‌شکن‌ها: طول کل آب‌شکن شامل طول اتصال ریشه آب‌شکن به دیواره رودخانه و طول ظاهری آن در پلان است. طول آب‌شکن‌ها بستگی به هدف‌های ساماندهی، عرض و راستای رودخانه در شرایط موجود، عرض پایدار و موردنظر بازه رودخانه، عمق موردنظر، ظرفیت انتقال سیلاب موردنظر، حد آبشستگی مجاز در بازه و در دماغه آب‌شکن، مصالح موجود و اقتصاد طرح دارد. طول آب‌شکن‌ها معادل 10° تا حداکثر 30° درصد عرض سطح آب در دبی لبریز فرض می‌شود (وزارت نیرو، ۱۳۸۸)، با توجه به این بازه طول آب‌شکن معادل ۵۰ متر انتخاب شد. قابل ذکر است با توجه به شرایط اولیه بستر طول آب‌شکن‌های دوم و سوم (شکل ۷) ۸۵ متر در نظر گرفته شد.



شکل ۴ رقوم اولیه بستر رودخانه در مدل MESH - CCHE



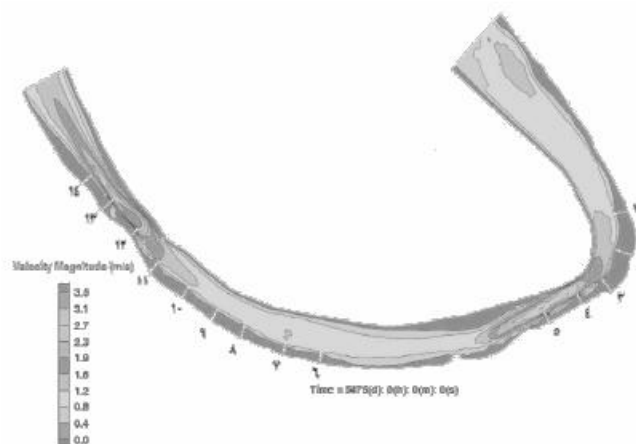
شکل ۵ خط‌های هم سرعت جریان در بیجان رود



شکل ۶ رقوم بستر بیجان رود پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی

از ساحل خارجی قوس می‌شوند و به دلیل کاهش سطح مقطع سرعت جریان را افزایش می‌دهند. جریان دوبعدی چرخشی ایجاد شده بین آب‌شکن‌ها عامل ترسیب و ساحل‌سازی است.

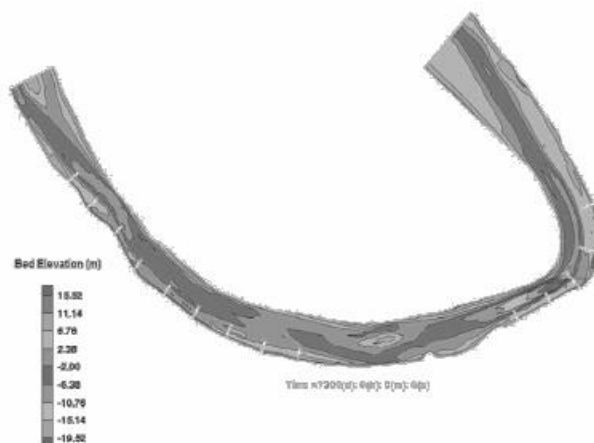
۱۴ عدد آب‌شکن برای ساماندهی ساحل در مدل جانمایی شد. شکل ۷ خط‌های هم سرعت جریان را با حضور آب‌شکن‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در مقایسه با شکل ۵ مشخص است؛ آب‌شکن‌ها سبب دور شدن خط جریان



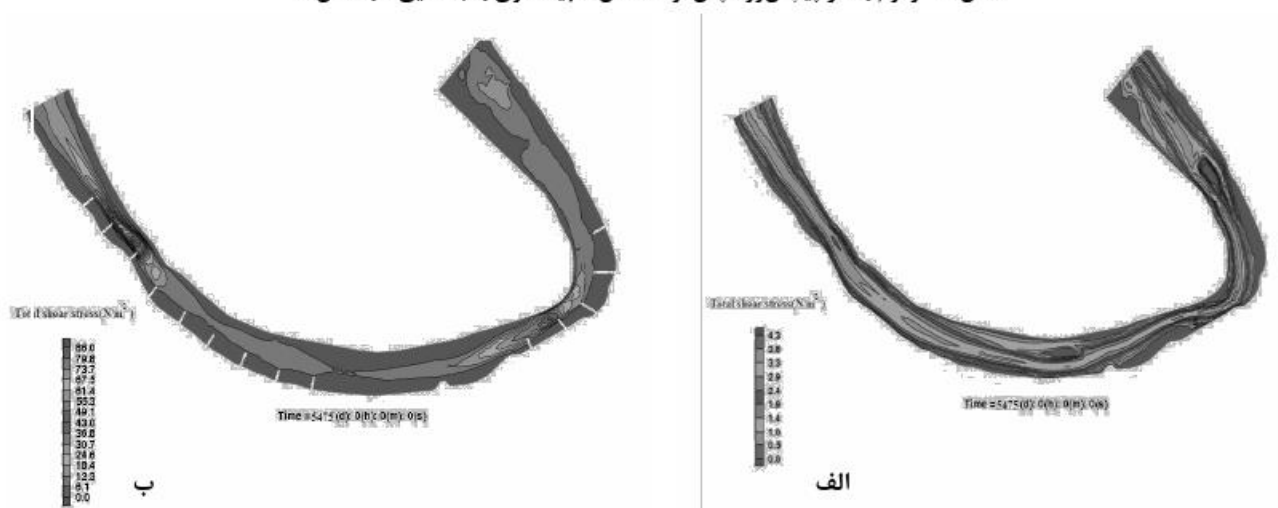
شکل ۷ خط‌های هم سرعت جریان در پیچان رود با جانمایی آب‌شکن‌ها

مشخص است که وجود آب‌شکن‌ها سبب کاهش تنش برشی در حدفاصل آن‌ها شده، اما در محل پنجه تنش برشی به صورت زیادی افزایش می‌یابد. در رابطه با لزجت گردابه‌ای نیز همین روند مشاهده می‌شود.

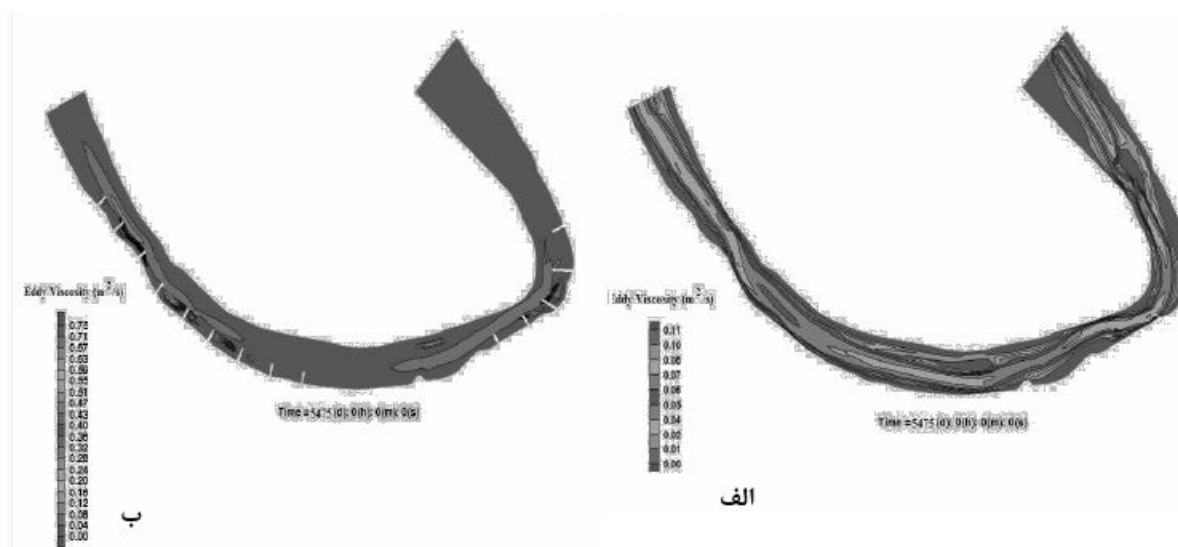
شکل ۸ بستر پیچان رود را پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی با حضور آب‌شکن‌ها نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های ۹ و ۱۰ اثر حضور آب‌شکن‌ها را در تغییر وضعیت لزجت گردابه‌ای و تنش برشی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۹



شکل ۸ رقوم بستر پیچان رود پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی با جانمایی آب‌شکن‌ها



شکل ۹ وضعیت تنش برشی در پیچان رود. (الف) بدون حضور آب‌شکن و (ب) با حضور آب‌شکن



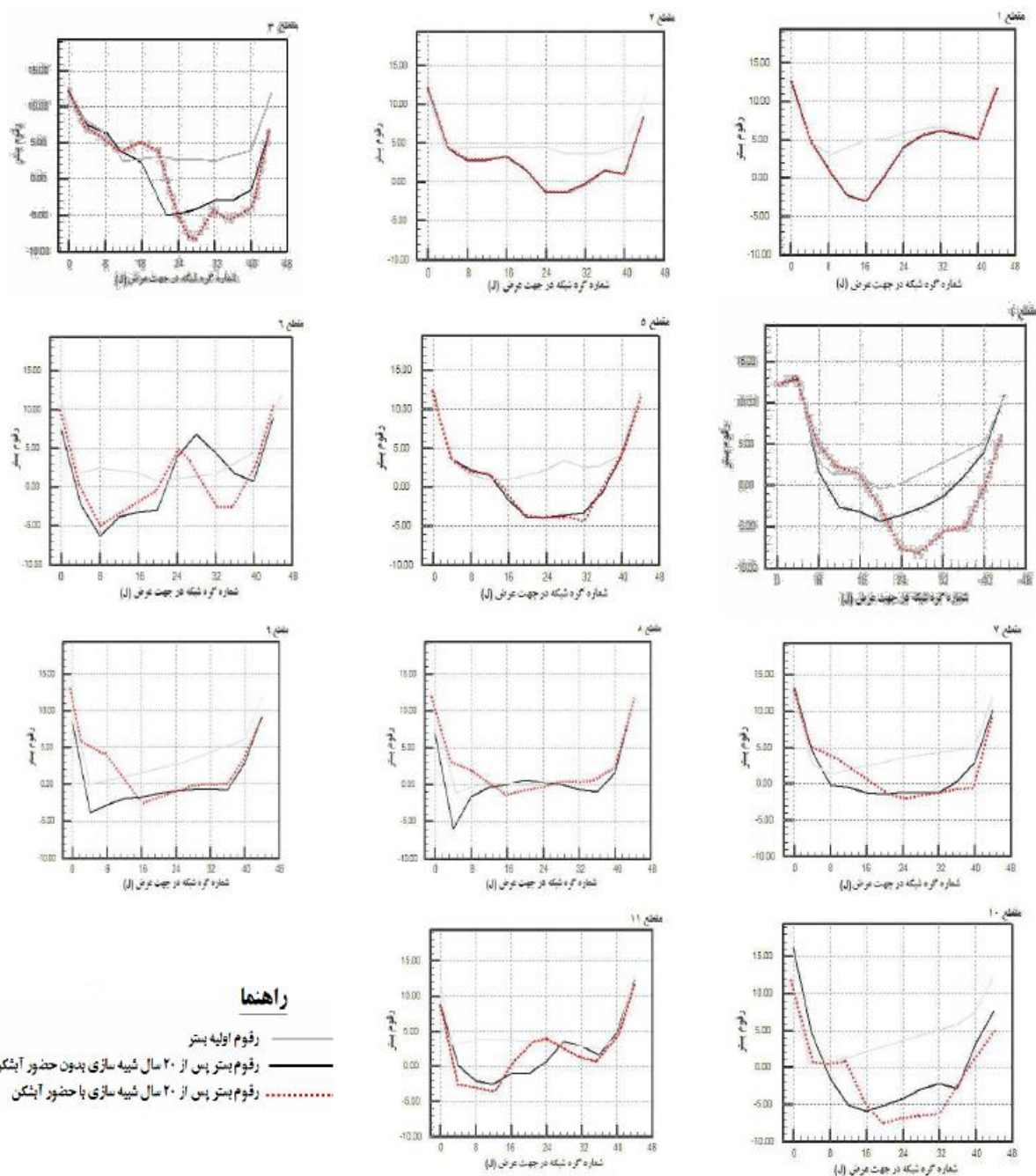
شکل ۱۰ وضعیت لزجت گردابه‌ای در پیچان‌رود، (الف) بدون حضور آب‌شکن و (ب) با حضور آب‌شکن

تأکیدی بر قابلیت استفاده گسترده از مدل در پروژه‌های مهندسی رودخانه است. بررسی نتایج نشان داد که در یک دوره ۲۰ ساله خط‌القعر پیچان‌رود بین ۴ تا ۸ متر و به طور متوسط ۵/۷ متر نسبت به شرایط اولیه عمیق‌تر خواهد شد و به دلیل حضور جریان حلزونی عمق بستر در محل قوس خارجی افزایش بیشتری داشته است. همچنین این پژوهش مبین تأثیر مثبت آب‌شکن‌های رودخانه‌ای در ساحل‌سازی و کنترل فرسایش است. حضور آب‌شکن‌ها در دوره ۲۰ ساله سبب افزایش متوسط رقوم بستر در محل ساحل خارجی بین ۱ تا ۹ متر و به طور متوسط ۴/۷ متر (در مقایسه باحالتی که آب‌شکن‌ها حضور ندارند) شد، ولی خط‌القعر را در برخی مقاطع تا حدود ۴ متر پایین برد که برای حفاظت بستر رودخانه در این مقاطع می‌توان از روش‌های پوششی مانند سنگ‌چین، توری سنگی و ... استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود برای ارزیابی دقیق‌تر مدل، اندازه‌گیری مقادیر دبی و سرعت در مقاطع بیشتر و با شدت‌های مختلف، به‌خصوص با دبی‌های سیلابی انجام شود. از آنجا که یکی از عامل‌های تخریب آب‌شکن‌ها ایجاد جریان پایین‌رونده در پنجه است پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده در پیچان‌رود مورد مطالعه این فرایند با مدل سه‌بعدی CCHE3D ارزیابی شود.

شکل ۱۱ خصوصیات ۱۱ مقطع عرضی برداشت شده (شکل ۱) را در ۳ حالت شرایط اولیه، پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی و پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی با جانمایی آب‌شکن‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است برای مقاطع ۱ و ۲ که در قسمت مستقیم رودخانه در ابتدای قوس قرار دارند و همچنین مقطع ۵ به دلیل فاصله زیاد از آب‌شکن‌ها حضور آب‌شکن‌ها بی‌اثر بوده و رقوم بستر پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی بدون آب‌شکن و با حضور آب‌شکن‌ها مشابه است. در مقاطع دیگر آب‌شکن‌ها با ترسیب رسوبات موجب ساحل‌سازی و افزایش رقوم بستر در محل قوس خارجی شده‌اند. در این مقاطع در مقایسه باحالتی که آب‌شکن‌ها حضور ندارند، بستر پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی با حضور آب‌شکن‌ها در محل ساحل خارجی بین ۱ (در مقاطع ۶ و ۱۱) تا ۹ متر (در مقطع ۳) و به طور متوسط ۴/۷ متر افزایش عمق را نشان می‌دهد. از طرفی حضور آب‌شکن‌ها به دلیل کاهش سطح مقطع و افزایش سرعت طولی جریان، کاهش شعاع قوس و افزایش نیروی گریز از مرکز که سبب به افزایش قدرت جریان حلزونی می‌شود و ایجاد جریان پایین‌رونده در محل پنجه، خط‌القعر را در برخی مقاطع تا حدود ۴ متر پایین برده است.

نتیجه‌گیری

استفاده موفقیت‌آمیز از مدل CCHE2D در شبیه‌سازی جریان و توانایی آن در شبیه‌سازی مرتبط با انتقال رسوب



تذکر: در نمودارهای فوق، محور سمت راست مربوط به قوس خارجی و محور سمت چپ مربوط به قوس داخلی است.

شکل ۱۱ مقایسه تأثیر آب‌شکن در تغییر شکل ۱۱ مقطع عرضی برداشت شده پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی

منابع

ایستگاه هیدرومتری اهواز به منظور پیش‌بینی رسوب و تغییرات مورفولوژی رودخانه کارون. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، بهمن ماه ۱۳۸۹، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۸ ص.

۳. شوریان م. مصباحی ج. و محمودی کردستانی س. ۱۳۸۸. تعیین معادلات مناسب برای برآورد بیلان رسوب رودخانه کارون. هشتمین سمینار بین‌المللی

۱. ایدر ا. ۱۳۷۷. بررسی شرایط موفقیت روش‌های آبی روندیابی سیل در رودخانه‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه تهران. ۱۲۰ ص.

۲. حسن‌آبادی ل. مفتاح حلقی م. ظهیری ع. و محمودی کردستانی س. ۱۳۸۹. بررسی میزان بار معلق رسوب

16. Suzuki K. Michiue M. and Hinokidani O. 1987. Local bed form around a series of spur dikes in alluvial channels. Proc. XXII Congress, IAHR, Lausanne. 316-321.
17. Wu W. 2001. CCHE2D Sediment transport model (Version 3.0). Tech report no. NCCHE-TR-2001-03, university of Mississippi, USA. 48 p.
18. Wu W. 2009. CCHE2D Sediment transport model (Version 2.1). Tech report no. NCCHE-TR-2001-3, university of Mississippi, USA.
19. Zhang Y. 2006. CCHE-GUI – Graphical users interface for NCCHE Model User's Manual (Version 3.0). Tech report no. NCCHE-TR-2006-02, university of Mississippi, USA. 158 p.
- مهندسی رودخانه، بهمن ماه ۱۳۸۸، اهواز، دانشگاه شهید چمران. ۹ ص.
۴. وزارت نیرو ۱۳۸۸. راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای. نشریه شماره ۵۱۶، انتشارات معاونت نظارت راهبردی وزارت نیرو. ۲۲۵ ص.
5. Adib A. 2010. Extraction of structural curves, regression relations and structural regression relations in the tidal limit of the Karun River. Indian Journal of Science and Technology. 3(5):530-536.
6. Andrzej S. Maciej W. Mateusz S. and Krzysztof K. 2011. Cross-Section Changes in the Lower Part of a Mountain River After the Flood in Spring 2010, as Presented by Means of CCHE2D Program. Journal of Experimental Methods in Hydraulic Research. 1:287-297
7. Copeland R. R. 1983. Bank protection techniques using spur dikes. Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi. 77 p.
8. Delphi M. Mahmoodian Shooshtari M. and Hassoni Zadeh H. 2010. Application of diffusion wave method for flood routing in Karun River. International Journal of Environmental Science and Development. 1(5):432-434.
9. Jia Y. and Wang S. S. Y. 2001. CCHE2D Verification and validation tests documentation. Tech report no. NCCHE-TR-2001-2, university of Mississippi, USA. 24 p.
10. Maza Alvarez J. A. 1989. Design of groynes and spur dikes. Proceedings of the 1989 National Conference on Hydraulic Engineering, New Orleans, Louisiana, August 14-18:296-301.
11. Minh-Duc B. Wenka T. and Rodi W. 2004. Numerical modeling of bed deformation in laboratory channels. Journal of Hydraulic Engineering. 130(9):894-904.
12. Odgaard A. 1981. Transverse bed slope in alluvial channel bends. Journal of Hydraulic Research. 107(12):1677-1693.
13. Perdok U. H. 2002. Application of timber groynes in coastal engineering. M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering. TU delft university of Technology. 110 p.
14. Petersen M. S. 1986. River engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 390 p.
15. Scott S. and Jia Y. 2001. Simulation of sediment transport and channel morphology change in large river system. US-China workshop on advanced computational modeling in hydroscience and engineering 2001. university of Mississippi, USA. 11 p.