

مدل سازی تأثیر آبشکن های رودخانه ای در کنترل فرسایش ساحل با مدل دوبعدی CCHE2D

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

چکیده

هدف از این مطالعه به کارگیری یک مدل هیدرودینامیک دوبعدی برای پیش بینی و پایش فرایندهای حاکم بر جریان، انتقال رسوب و حفاظت ساحل در یک پیچان رود طبیعی است. محدوده مورد مطالعه بخشی از رودخانه کارون با طول در حدود ۵ کیلومتر در حد فاصل ایستگاه های آبسنجی اهواز و فارسیات است. حفاظت ساحل در پیچان رود موردنظر به دلیل 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 صحت سنجی برای شبیه سازی الگوی جریان، پیش بینی تغییرات بستر و ساحل در یک دوره زمانی ۲۰ ساله استفاده شد. نتایج نشان داد خط القعر پیچان رود بین ۴ تا ۸ و به طور متوسط ۵/۷ متر نسبت به شرایط اولیه عمیق تر شده و به دلیل حضور جریان حلزونی عمق بستر در محل قوس خارجی افزایش بیشتری دارد. از آنجا که یکی از سازه های مهم برای حفاظت دیواره های رودخانه آبشکن های رودخانه ای هستند، برای پیچان رود مورد مطالعه ۱۴ عدد آبشکن پس از طراحی در مدل CCHE2D جانمایی شد. حضور آبشکن ها در دوره ۲۰ ساله سبب افزایش رقوم بستر در محل ساحل خارجی بین ۱ تا ۹ و به طور متوسط ۴/۷ متر (در مقایسه با حالتی که آبشکن ها حضور ندارند) شد اما خط القعر را در برخی مقاطع تا حدود ۴ متر عمیق تر کرد.

واژه های کلیدی: پیچان رود، رودخانه کارون، سازه آبشکن، مدل عددی.

ارجاع: تاجبخش م. و موسوی جهرمی س. ح. ۱۳۹۴. مدل سازی تأثیر آبشکن های رودخانه ای در کنترل فرسایش ساحل با مدل دوبعدی CCHE2D. مجله پژوهش آب ایران. ۸۹-۷۹: ۱۷.

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

مطالعات مهندسی رودخانه نیازمند تحلیل های هیدرودینامیکی و انتقال رسوب است. برای پروژه های به نسبت ساده، مدل های کامپیوتری که بر پایه تحلیل هیدرولیک و انتقال رسوب تعدادی از مقاطع عرضی هستند اطلاعات مناسبی برای تصمیم گیری های مهندسی می دهند اما برای آبراهه های فرسایشی پیچیده که شامل پلان، ریخت شناسی و ترکیبات متنوعی از مواد بستر هستند، استفاده از مدل های هیدرودینامیکی چندبعدی انتقال رسوب برای ارزیابی کوتاه مدت و بلندمدت رودخانه ضروری است.

به تازگی استفاده از مدل های عددی در شبیه سازی رودخانه ای به صورت گسترده ای استفاده می شود؛ به عنوان مثال؛ جیا و وانگ (۲۰۰۱) گزارشی در رابطه با مقایسه نتایج مدل CCHE2D با نتایج حاصل از مدل های فیزیکی ارائه کردند. ایشان مدل CCHE2D را در مقطع با بستر صلب و آبرفتی در اطراف آبشکن در انقباض و انبساط های ناگهانی و کانال با مقطع مرکب و قوس با زاویه های مرکزی مختلف و ... ارزیابی کردند. ایشان در شرایط واقعی نیز مدل را برای رودخانه های نیچر در کشور آلمان و رودخانه می سی سی پی در کشور آمریکا صحت سنجی کردند که در تمام موردهای بالا دقت مدل CCHE2D تأیید شد. پژوهش جامعی نیز توسط مرکز توسعه و تحقیقات مهندسی بر روی مدل های دوبعدی رودخانه با هدف ارزیابی قابلیت مدل در پیش بینی تغییرات ریخت شناسی رودخانه و همچنین توانایی در ارزیابی تأثیر کوتاه مدت و بلندمدت سازه های هیدرولیکی به ویژه آبشکن ها انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد مدل^۱ NCCHE بالاترین توانایی را در شبیه سازی جریان و ریخت شناسی رودخانه دارد (اسکات و جیا، ۲۰۰۱). مین دوک و همکاران (۲۰۰۴) یک مدل دوبعدی عمق میانگین را برای جریان ناپایدار در رودخانه های با هندسه نامنظم توسعه دادند. ایشان از معادله پیوستگی و اندازه حرکت و معادله آشفستگی $k-\epsilon$ در سیستم مختصات منحنی استفاده کردند. معادلات به روش حجم محدود حل شد و مدل عددی بر روی رودخانه راین آزمایش شد. نتایج نشان داد که اثر آبشکن ها بر روی توزیع سرعت، به خوبی با

مدل عددی شبیه سازی شده است. وو و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل عددی سه بعدی را برای شبیه سازی الگوی جریان، حمل رسوب و تغییر شکل بستر در پیچان رودهای آبرفتی ارائه کردند. برای ارزیابی دقت مدل نیز، دو آزمایش انجام شد. مدل ابتدا برای موقعیت جریان در کانال های 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، پیش بینی های مدل به طور معمول مطلوب است. در سال ۲۰۱۱ پژوهشی توسط اندرز و همکاران در کشور لهستان با هدف بررسی تغییرات ریخت شناسی رودخانه بیالکا قبل و بعد از دو سیلاب بزرگ انجام شد. با جمع آوری مؤلفه های مورد نیاز، مدل سازی رودخانه برای سیلاب های مذکور با مدل CCHE2D انجام شد. نتیجه مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده بر دقت بالای مدل در تخمین تغییرات بستر رودخانه تأکید دارد (اندرز و همکاران، ۲۰۱۱).

آبشکن ها سازه های 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 کناره ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می کنند. با انحراف جریان، کناره رودخانه در حفاصل دیواره های طبیعی موجود با مرز راستای اصلاح شده به تدریج با ته نشینی رسوبات توسعه یافته و با استقرار پوشش گیاهی در درازمدت تثبیت می شود. آبشکن ها به دو نوع صلب و نفوذپذیر تقسیم شدند، ولی ساختار و کارکرد هیدرولیکی این دو به طور کامل متفاوت است.

هدف از این پژوهش پیش بینی تغییرات بستر و ساحل بخشی از رودخانه کارون در پیچان رود تحت تأثیر جریان های حلزونی در یک دوره زمانی ۲۰ ساله و شبیه سازی تأثیر استفاده از آبشکن های رودخانه ای در حفاظت دیواره های رودخانه و ساحل سازی 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 صحت سنجی استفاده شد.

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 طول‌ترین 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 پیچان‌رودی به طول ۴۵۷۵ متر از رودخانه کارون در فاصله ایستگاه‌های آب‌سنجی اهواز و فارسیت بوده که از مختصات $E 15^{\circ} 36' 48''$ طول و $N 31^{\circ} 14' 38.7''$ عرض جغرافیایی شروع و در $E 44^{\circ} 34' 48''$ طول و $N 25^{\circ} 14' 31''$ 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 به‌دلیل همسایگی با اراضی کشاورزی و تأسیسات سازمان آب و برق خوزستان مهم است. در شکل ۱ تصویر هوایی از منطقه و مقاطع عرضی مورد استفاده نشان داده شده است.



شکل ۱- تصویر هوایی از رودخانه و مقاطع عرضی

الگوی جریان در قوس

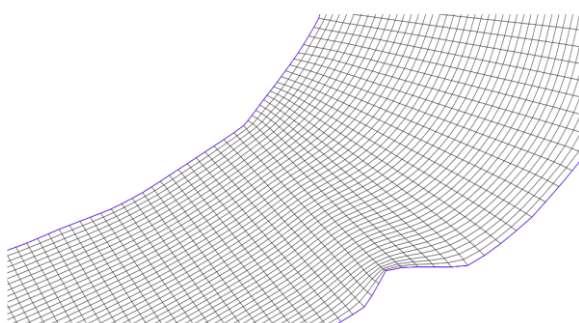
با ورود جریان به داخل قوس، نیروی گریز از مرکز سبب حرکت جریان به سمت قوس خارجی، کاهش سطح آب و در نتیجه افزایش سرعت جریان در قوس داخلی می‌شود که نتیجه آن تشکیل منطقه حداکثر سرعت در ابتدای قوس در نزدیکی قوس داخلی است. به سمت مرکز قوس به‌دلیل حضور نیروی گریز از مرکز، اختلاف تراز سطح آب^۱ ایجاد می‌شود. برای 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 به‌دلیل 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 (ادگار، 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

شبکه بندی بهینه خواهد بود. با توجه به دو مؤلفه بالا ابعاد شبکه $I=48 \times J=550$ در نظر گرفته شد. طبق شبکه بندی 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 میان یابی مثلثی^۸ رقوم اولیه بستر رودخانه را به دست می آورد. شکل ۲ نمایی از شبکه بندی تولید شده را نشان می دهد.



شکل ۲- شبکه بندی بخشی از مسیر رودخانه در مدل CCHE-MESH

اطلاعات مورد نیاز شبیه سازی

مؤلفه های هیدرولیکی جریان شامل نوع مدل آشفتگی، مدت شبیه سازی و گام زمانی، زبری بستر، شرایط اولیه جریان، همچنین مؤلفه های رسوب شامل کلاس بندی اندازه رسوبات بستر، مدل شبیه سازی انتقال رسوبات، وزن مخصوص رسوبات و ... است. در این مطالعه از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استفاده و گام زمانی شبیه سازی ۱۰ ثانیه فرض شد همچنین با توجه به مطالعات انجام شده در محدوده مورد نظر ادیب (۲۰۱۰) ضریب زبری مانینگ را بین ۰/۲۲ تا ۰/۳ و دلفی و همکاران (۲۰۱۰) نیز آن را معادل ۰/۲۷۵ پیشنهاد کردند (ادیب، ۲۰۱۰ و دلفی و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به موارد ذکر شده ضریب زبری مانینگ معادل ۰/۳ به مدل معرفی شد.

فنی دانشگاه می سی سی پی آمریکا توسعه یافت. این مدل به روش انتقال غیر متعادل قابلیت حل همزمان معادلات رسوب و جریان، انتقال رسوبات غیریکنواخت و تخمین تغییرات بستر، آنالیز پایداری شیب های جانبی آبراهه ها و همچنین روندیابی انتقال رسوب برای مطالعات بلندمدت و کوتاه مدت را دارد. ساخت هندسه و شبکه بندی میدان در یک نرم افزار مجزا تحت عنوان CCHE-MESH انجام می شود و حل میدان جریان، انتقال رسوب و مشاهده نتایج در محیط گرافیکی نرم افزار CCHE2D انجام می شود. مدل شبکه بندی با قابلیت تولید شبکه، محیطی ایجاد می کند که معادلات آب و رسوب به کار رفته در مدل CCHE2D بتوانند طبق روش عددی المان های محدود گسسته شوند. مدل CCHE2D یک مدل دوبعدی متوسط عمقی بوده که در آن شبیه سازی جریان براساس حل معادلات متوسط عمقی ناویر-استوکس است. تنش برشی متلاطم با استفاده از تخمین بوزینسک محاسبه می شود و برای محاسبه لزجت گردابه ای متلاطم از دو مدل صفر معادله ای طول اختلاط^۱ و توزیع سهموی لزجت گردابه ای^۲ و مدل دوبعدی $k-\epsilon$ ^۳ بهره می برد. مجموعه معادلات حاصله به صورت ضمنی با روش حجم کنترل و عناصر مؤثر^۴ حل می شوند. شبیه سازی جریان رسوب نیز با مدل های انتقال غیرتعادلی^۵ انجام می شود. از سه روش انتقال مختلف برای شبیه سازی بار بستر، بار معلق و بار کل استفاده می شود. 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 تفاضل های نمایی حل می شوند (ژانگ، ۲۰۰۶). این مدل برای برآورد میزان انتقال رسوبات از چهار مدل SEDTRA، انگلوند هانسن اصلاح شده، ایکر وایت اصلاح شده و معادله وو (۲۰۰۱) بهره می برد. همچنین برای تخمین نرخ فرسایش ساحل از دو روش تورن و هانسون استفاده می کند (وو، ۲۰۰۱).

تولید و تنظیم شبکه بندی میدان حل

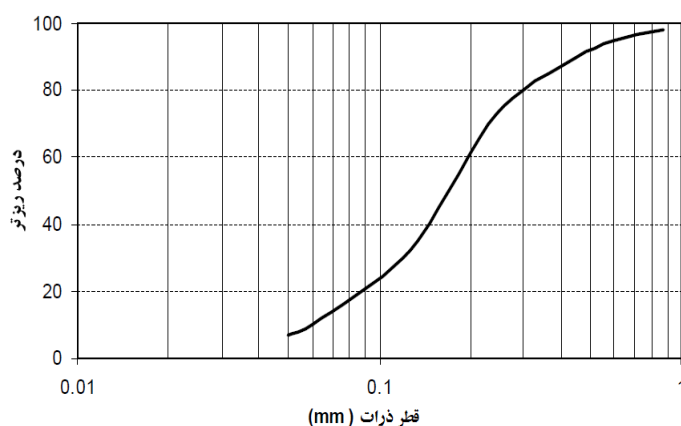
زمان اجرای محاسبات و میزان هماهنگی نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مشاهده ها، دو عامل مهم در انتخاب

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 سنج 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 شبیه‌سازی‌شده 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.

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

امتداد آبشکن نسبت به راستای عمومی جریان:

آبشکن ها از نظر آرایش زاویه قرارگیری در رودخانه و تأثیر آن ها بر روی جریان رودخانه ای، به سه نوع عمودی، جاذب و دافع تقسیم می شوند. آبشکن های جاذب از نظر سازه ای، به سمت پایین دست جریان رودخانه متمایل بوده جریان را به سمت خود جذب و مانع از انحراف جریان به سمت دیواره مقابل می شوند. برخلاف آن آبشکن های 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 می شوند. زاویه تمایل آبشکن های جاذب و دافع از راستای عمود بین ۱۰ تا ۲۰ درجه پیشنهاد شده است. آبشکن های عمودی نیز، عمود بر راستای عمومی جریان رودخانه یا دیواره ها احداث شده و سبب تغییر برای جریان از سمت کناره رودخانه شده و همچنین مانع از انحراف شدید جریان به سمت دیواره مقابل می شوند. به طور کلی از نظر انحراف جریان و رسوب گذاری آبشکن های دافع بهتر عمل می کنند اما از نظر سازه ای آبشکن های جاذب پایدارترند و آبشکن های عمودی نیز حد واسط دو نوع فوق هستند (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). به همین دلیل در این مطالعه از آبشکن های عمودی استفاده شده است.

طول آبشکن ها: طول کل آبشکن شامل طول اتصال ریشه آبشکن به دیواره رودخانه و طول ظاهری آن در پلان است. طول آبشکن ها بستگی به هدف های 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 آبشکن ها معادل ۱۰ تا حداکثر ۳۰ درصد عرض سطح آب در دبی لبریز فرض می شود (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 آبشکن های دوم و سوم (شکل ۷) ۸۵ متر درنظر گرفته شد.

فاصله آبشکن ها: فاصله بین آبشکن ها بستگی به هدف های ساماندهی، عرض بازه رودخانه، راستای رودخانه (مستقیم یا پیچ)، شدت انحنای پیچ رودخانه، سمت ساحلی پیچ رودخانه (پیچ خارجی یا داخلی)، طول مؤثر آبشکن ها، نوع آبشکن، شکل ظاهری آبشکن در پلان و شکل مقطع عرضی آبشکن دارد. فاصله بین آبشکن ها به طور عموم به صورت ضریبی از طول آبشکن بیان می شود (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). با توجه به رقم های 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 آبشکن ها ۲۰۰ متر و با توجه به شرایط قوس ۱۴ عدد آبشکن درنظر گرفته شد و خصوصیات آن ها به مدل CCHE2D معرفی شد.

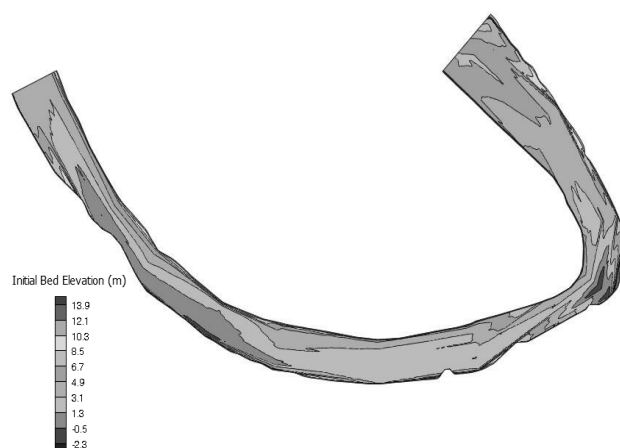
نتایج و بحث

مقاطع عرضی برداشت شده (شکل ۱) به مدل شبکه بندی معرفی و رقوم اولیه بستر رودخانه با الگوریتم میان یابی مثلثی به شکل ۴ به دست آمد.

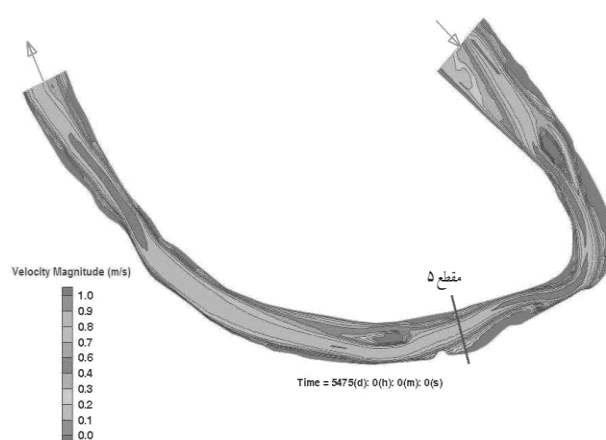
در ادامه با معرفی مؤلفه های هیدرولیکی جریان به مدل CCHE2D شبیه سازی انجام شد. شکل ۵ خط های هم سرعت جریان را نشان می دهد. منطقه حداکثر سرعت در ابتدای قوس در نزدیکی قوس داخلی بوده اما به دلیل حضور نیروی گریز از مرکز در ادامه مسیر به سمت قوس خارجی رانده می شود.

برای مقطع ۵ (شکل های ۱ و ۵)، عمق و سرعت اندازه گیری شده در مرکز رودخانه به ترتیب $10/2 \text{ m}$ و $0/76 \text{ m/s}$ و مقادیر متناظر به دست آمده از شبیه سازی $9/52 \text{ m}$ و $0/69 \text{ m/s}$ 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 می توان دقت مدل در شبیه سازی الگوی جریان را خوب دانست.

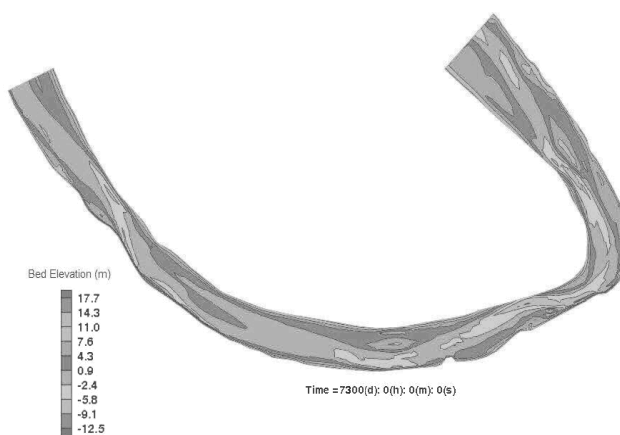
شکل ۶ تغییر بستر پیچان رود را پس از ۲۰ سال شبیه سازی نشان می دهد، برای ۱۱ مقطع شکل ۱ مقایسه رقوم بستر پس از شبیه سازی با رقوم اولیه نشان دهنده عمیق تر شدن خطالقعر بین ۴ (در مقاطع ۷ و ۹) تا ۸ متر (در مقطع ۳) و به طور متوسط $5/7$ متر است. به دلیل حضور جریان حلزونی عمق بستر در محل قوس خارجی افزایش بیشتری داشته است.



شکل ۴- رقوم اولیه بستر رودخانه در مدل CCHE - MESH



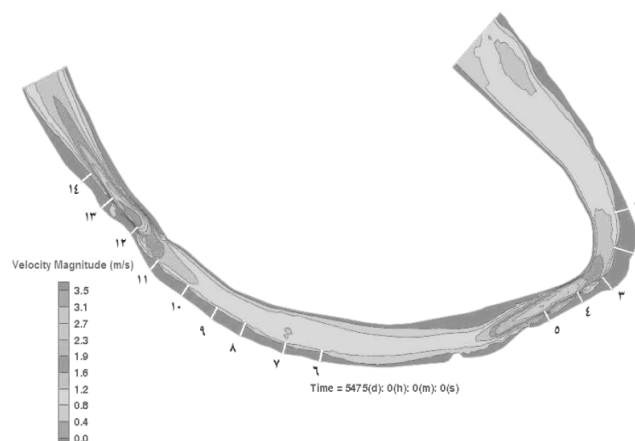
شکل ۵- خط‌های هم سرعت جریان در پیچان رود



شکل ۶- رقوم بستر پیچان رود پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی

از ساحل خارجی قوس می‌شوند و به دلیل کاهش سطح مقطع سرعت جریان را افزایش می‌دهند. جریان دویعدی پرخشی ایجادشده بین آبشکن‌ها عامل ترسیب و ساحل‌سازی است.

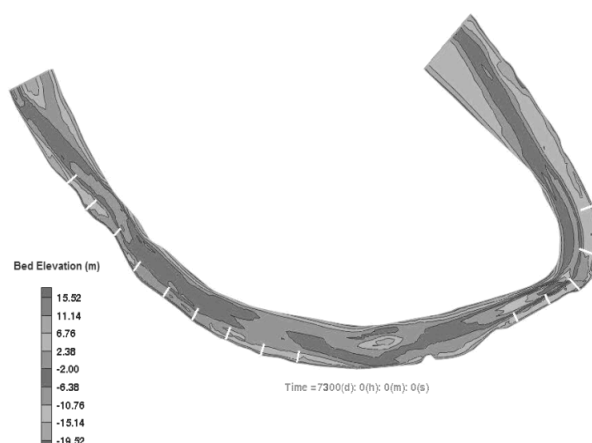
۱۴ عدد آبشکن برای ساماندهی ساحل در مدل جانمایی شد. شکل ۷ خط‌های هم سرعت جریان را با حضور آبشکن‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در مقایسه با شکل ۵ مشخص است؛ آبشکن‌ها سبب دور شدن خط جریان



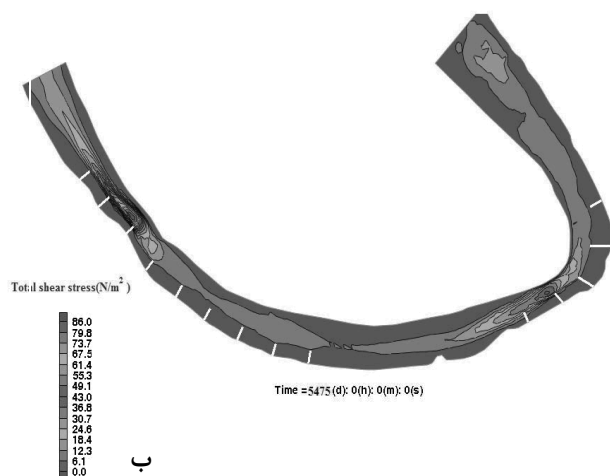
شکل ۷- خط‌های هم سرعت جریان در پیچان‌رود با جانمایی آب‌شکن‌ها

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

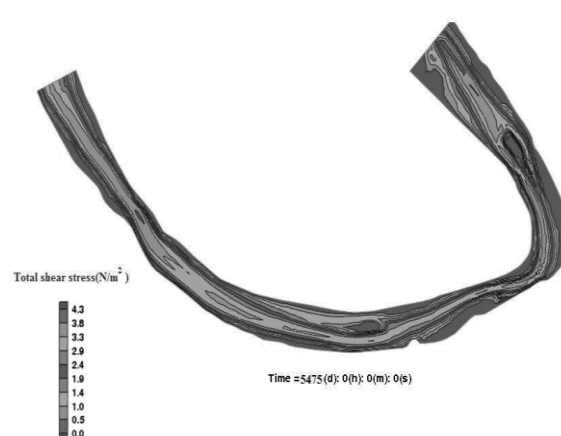
شکل ۸ بستر پیچان‌رود را پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی با حضور آب‌شکن‌ها نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های ۹ و ۱۰ اثر حضور آب‌شکن‌ها را در تغییر وضعیت لزجت گردابه‌ای و تنش برشی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۹



شکل ۸- رقوم بستر پیچان‌رود پس از ۲۰ سال شبیه‌سازی با جانمایی آب‌شکن‌ها

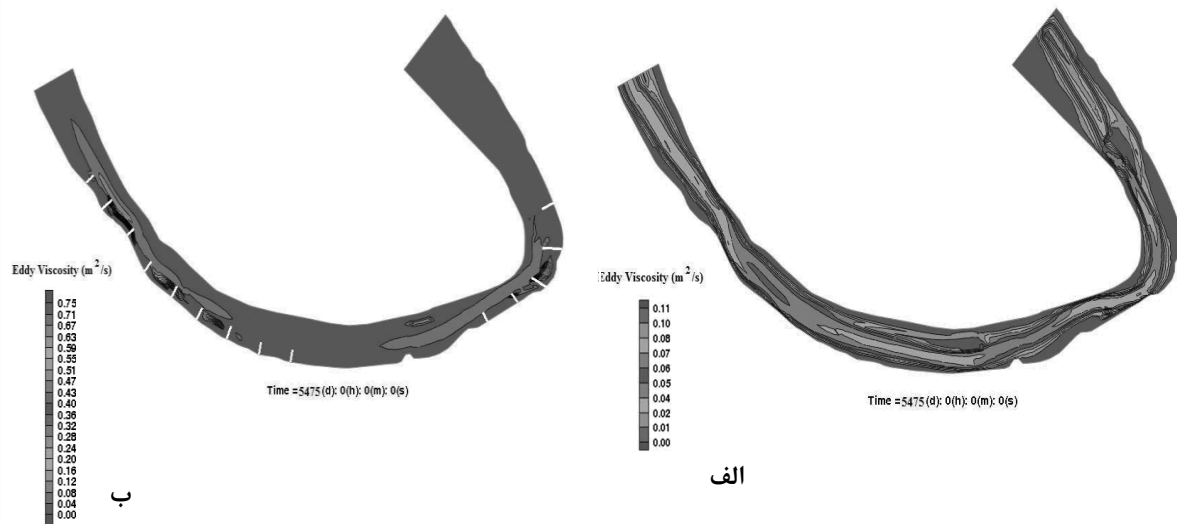


ب



الف

شکل ۹- وضعیت تنش برشی در پیچان‌رود، (الف) بدون حضور آب‌شکن و (ب) با حضور آب‌شکن



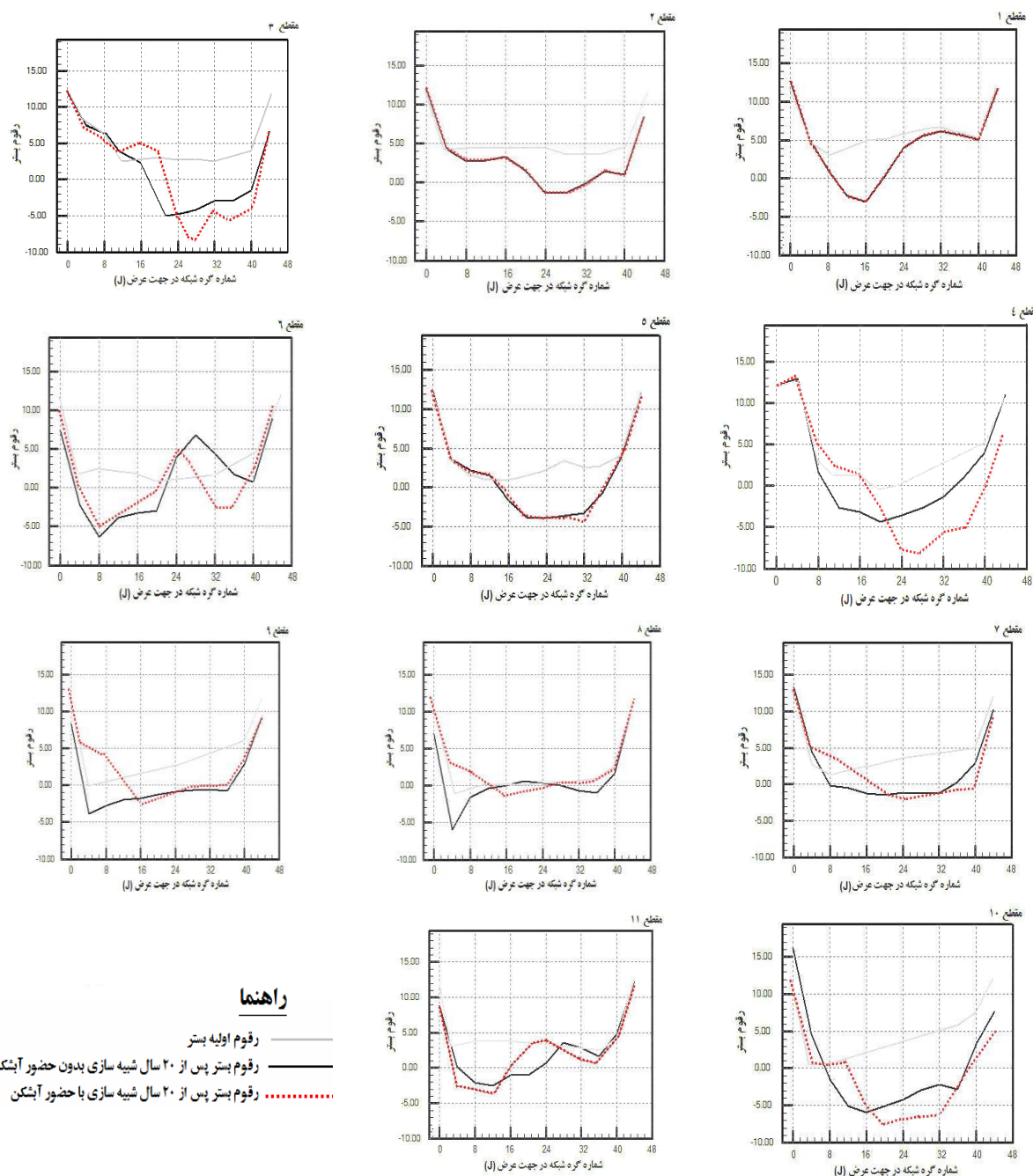
شکل ۱۰- وضعیت لزجت گردابه‌ای در پیچان‌رود، (الف) بدون حضور آب‌شکن و (ب) با حضور آب‌شکن

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 ساحل سازی 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 با حالتی 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 دقیق تر 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 ساحل سازی و افزایش رقوم بستر در محل قوس خارجی شده‌اند. در این مقاطع در مقایسه با حالتی 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 آب شکن در تغییر شکل ۱۱ مقطع عرضی برداشت شده پس از ۲۰ سال شبیه سازی

منابع

ایستگاه هیدرومتری اهواز به منظور پیش بینی 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 بین المللی

۱. ایدر ا. ۱۳۷۷. بررسی شرایط موفقیت روش های آبی روندیابی سیل در رودخانه ها. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه تهران. ۱۲۰ ص.
۲. حسن آبادی 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.

