

بررسی تأثیر فاصله قرارگیری صفحات مثلثی متصل به ساحل بر توپوگرافی بستر قوس ۱۸۰ درجه جنگیه رودخانه کارون با استفاده از مدل فیزیکی

محمد میرزاد^۱ و محمود شفاعی بجنستان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز m_shafai@yahoo.com

پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۵

بازنگری: ۹۵/۱۰/۱۳

دریافت: ۹۵/۳/۵

چکیده

صفحات مثلثی از جمله سازه‌هایی هستند که با اصلاح الگوی جریان در قوس رودخانه ضمن جلوگیری از آبشستگی ساحل بیرونی باعث تثبیت ساحل نیز می‌شوند. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر فاصله قرارگیری صفحات مثلثی بر توپوگرافی بستر قوس جنگیه رودخانه کارون با استفاده از مدل فیزیکی قوس در فواصل ۴، ۵، ۶ و ۸ برابر طول مؤثر صفحات صورت گرفت. آزمایش‌ها در شرایط مختلف جریان (اعداد فرود $+۰/۲۳۶$ ، $+۰/۲۹$ و $+۰/۲۹$ در بازه‌ی مستقیم پایین دست قوس) صورت گرفت. در این پژوهش زاویه صفحات نسبت به ساحل بالادست ۳۰ درجه بوده و کلیه آزمایشات در شرایط آب زلال انجام شد. نتایج نشان داد که صفحات مثلثی باعث انحراف لایه‌های فوقانی جریان از ساحل بیرونی به طرف میانه مجرا شده و لایه‌های پایینی به سمت قوس بیرونی حرکت می‌کند که در اثر این رسوبات به سمت ساحل بیرونی هدایت شده و بین صفحات رسوب گذاری مشاهده می‌شود. مقایسه توپوگرافی بستر نشان داد که خط القعر از ساحل خارجی به سمت پنجه صفحات منتقل می‌شود که باعث کاهش عمق آبشستگی پنجه ساحل خارجی می‌گردد. در شرایط مختلف جریان حداکثر عمق آبشستگی در فاصله نصب ۵ برابر طول مؤثر کمترین مقدار را داشت به طوری که در مقایسه با فاصله نصب ۴ برابر طول مؤثر ۴۵ درصد و نسبت به فاصله نصب ۸ برابر طول مؤثر ۵۶ درصد کمتر است از این رو فاصله بین صفحات ۵ برابر طول مؤثر صفحه توصیه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: سازه‌های زیست محیطی، صفحات مثلثی، قوس رودخانه، فرسایش سواحل، ساحل سازی.

مقدمه

در طبیعت مسیر رودخانه‌ها اغلب توأم با پیچانرود و مسیرهای منحنی است. فرایندهای طبیعی مرتبط با سیستم رودخانه‌های ماندری محافظت نشده، نشان داده است که گود افتادگی مسیر آبراهه، فرسایش ساحل آبراهه و جابه‌جایی قوس‌ها در این رودخانه‌ها اتفاق می‌افتد. امروزه با توجه به گسترش اراضی حاشیه رودخانه‌ها هرگونه تغییر مسیر بدون پیش‌بینی تأثیر آن باعث خسارات مالی و تبعات اجتماعی گسترده می‌گردد (Hemmati et al., 2013). بالا بودن نرخ فرسایش ساحل در محل قوس خارجی که حتی در زمان‌های کم آبی رودخانه نیز مشاهده می‌شود، به دلیل الگوی خاص، پیچیده و سه بعدی جریان در محل قوس است که این الگوی خاص سبب ایجاد جریان‌های ثانویه در قوس‌ها می‌گردد.

در الگوی جریان ثانویه به دلیل حرکت رو به پائین جریان در محل ساحل خارجی و برخورد آن به بستر در محل پاشنه ساحل و تغییر جهت آن، ذرات رسوبی در این مکان تحت تأثیر نیروهای هیدرودینامیک می‌توانند از جا کنده شوند. ذرات کنده شده توسط

الگوی جریان حلزونی، به صورت مارپیچی منتقل می‌شوند. این ذرات با کاهش نیروهای هیدرودینامیک در محل ساحل داخلی، به دلیل اینکه جهت جریان ثانویه در این محل رو به بالا است، نهشته می‌شوند. با فرسایش پاشنه ساحل در قوس خارجی توده خاک ساحل ناپایدار شده و تخریب می‌شود. همزمان در ساحل مقابل نیز پشته رسوبی شکل می‌گیرد.

در شکل (۱) الگوی جریان حلزونی در قوس رودخانه، جابه‌جایی ذرات رسوب و پدیده انتقال محل وقوع حداکثر سرعت در قوس نشان داده شده است.

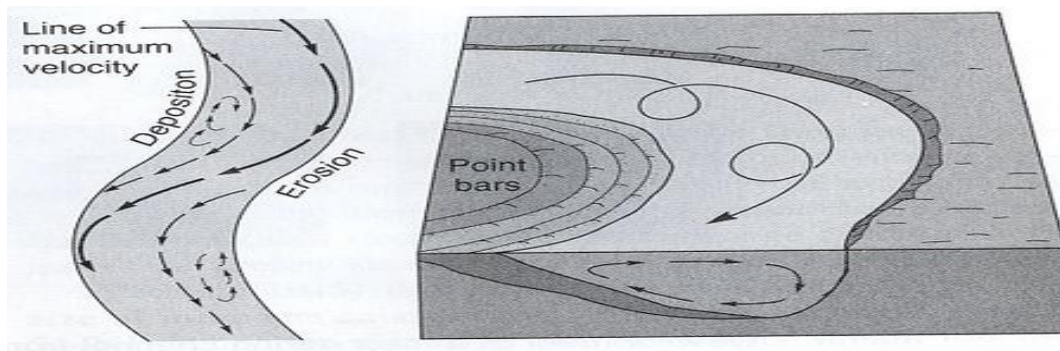
بنابراین برای تثبیت یا کنترل فرسایش، باید ساحل و پاشنه در قوس خارجی با استفاده از مصالح مقاوم به فرسایش پوشش شوند تا بتوانند در مقابل نیروهای هیدرودینامیک وارده مقاومت کنند و یا الگوی جریان به گونه‌ای اصلاح شود که نرخ فرسایش کاهش یابد.

صفحات مثلثی از جمله سازه‌های زیست محیطی هستند که معمولاً از سنگ و یا الوار ساخته می‌شوند و از ساحل دشت سیلابی تا بستر رودخانه شیب‌دار هستند. این سازه عمدتاً به منظور کنترل فرسایش سواحل، انحراف جریان به طرف مرکز مجرا، بهتر شدن

اهمیت می‌باشد. بررسی اثر طول مؤثر صفحات مثلثی بر توپوگرافی بستر تحت شرایط مختلف هیدرولیکی توسط Bahrami و Yarahmadi و Shafai Bejestan (2016, c) نشان داد با کاهش طول مؤثر صفحات حداکثر عمق آبستگی کاهش می‌یابد به گونه ای که طول مؤثر $1/5$ و $1/7$ دارای کمترین عمق آبستگی می‌باشند. آن‌ها نشان دادند متوسط ماکزیمم عمق آبستگی صفحه متصل به ساحل نسبت به آبشکن مستطیلی کاهش یافته است. اکثر مطالعات انجام شده در قوس‌ها تاکنون یا روی فلویم‌های آزمایشگاهی انجام شده و یا با مدل‌های عددی انجام گرفته‌اند. در تحقیق حاضر توپوگرافی بستر قوس جنگیه رودخانه کارون توسط مدل فیزیکی کج با ضریب تحریف ۶ بررسی شد. این قوس همگرا بوده و فرسایش‌های شدیدی را تجربه کرده به نحوی که مناطق مسکونی در معرض خطر قرار گرفته‌اند. از میان روش‌های موجود روش صفحات مثلثی به دلیل هزینه‌های اجرایی کم انتخاب شده و بنابراین هدف اصلی این مطالعه تعیین محدوده فرسایشی و نیز معیار نصب صفحات مثلثی به منظور کاهش عمق آبستگی پنجه ساحل خارجی و کاهش تخریب ساحل خارجی می‌باشد.

وضعیت انتقال رسوب، انحراف جریان از سواحل به طرف مرکز مجرا، ترمیم و توسعه زیستگاه آبزیان استفاده می‌شوند. به‌منظور کاهش فرسایش در قوس خارجی با استفاده از صفحات متصل به ساحل تحقیقات اندکی در داخل و خارج کشور صورت گرفته‌است (Bahrami-Yarahmadi and Shafai Bejestan, 2016 a,b)؛ (Hey, 1992, 1996؛ Shields, 2002).

Bhuiyan et al. (2010) در یک تحقیق آزمایشگاهی برای کنترل فرسایش انحای رودخانه از صفحات متصل به ساحل استفاده نمودند. نتایج نشان داد وقتی یک یا گروهی از صفحات به ساحل نصب می‌شوند چاله‌های فرسایشی در ساحل خارجی پر می‌شود و خط‌القع به طرف مرکز رودخانه منتقل می‌شود. تحقیقاتی که در رابطه با اثر زاویه تک صفحه مثلثی نسبت به ساحل بالادست تحت شرایط مختلف هیدرولیکی در قوس ملایم 90° درجه توسط Bahrami, Yarahmadi و Shafai Bejestan (2014) صورت گرفت نشان داد که زاویه 23° و 30° درجه کمترین عمق و حجم آبستگی را نسبت به سایر زوایا داشتند. از دیگر نتایج تحقیق آن‌ها این بود که رسوبات حاصل از فرسایش در پایین‌دست سازه ترسیب یافتند که این امر برای ساحل سازی در قوس رودخانه حائز



شکل ۱- الگوی جریان حلزونی، جابجایی ذرات رسوب و پدیده انتقال محل وقوع حداکثر سرعت در قوس رودخانه (به نقل از Zahiri, 2012)

مواد و روش‌ها

در این تحقیق که در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است، از مدل فیزیکی قوس جنگیه رودخانه کارون در پایین دست اهواز با مقیاس افقی ۳۰۰ و مقیاس عمودی ۵۰ که یک قوس ۱۸۰ درجه همگرا بوده با بستر صلب (بتنی) استفاده گردید. برای ساخت مدل هم ابتدا ۱۴ مقطع عرضی از محل قوس برداشت گردید و با مقیاس موردنظر ترسیم و روی فوم به ضخامت ۳ سانتی‌متر چسبانده و برش داده شد. پلان محل نیز با مقیاس ترسیم و پهن گردید و مقاطع برش داده شده در محل‌های خود نصب و بین آن‌ها با مصالح پر و رویه آن با سیمان پوشش داده شد. طول بازه‌ی مدل شده تقریباً برابر با ۲ کیلومتر (معادل ۷ متر در مدل فیزیکی) می باشد. در شکل‌های (۲) و (۳) مدل فیزیکی و بازه‌ی مدل شده قوس جنگیه مشخص گردیده است. پس از ساخت مدل ابتدا مدل برای دبی سیل دوساله کارون در محدوده طرح از نظر هیدرولیکی واسنجی گردید بدین نحو که با برقراری دبی مورد نظر، زبری جدارها با اضافه کردن شن‌های درشت افزایش یافت تا اینکه تراز سطح آب در محدوده طرح برابر رقوم اندازه‌گیری شده باشد. اندازه مصالح رسوبی بستر مدل در ابتدا بر اساس معیار شیلدز Shafai Bejestan (2012) و با در نظر گرفتن اندازه ذرات کارون در محدوده طرح (برابر ۰/۵ میلی‌متر) شبیه‌سازی گردید. از آنجا که اندازه ذرات محاسبه شده مدل در حد مصالح چسبیده بود و خصوصیات آن نسبت به رسوبات کارون متفاوت بود از آن استفاده

نشد. از طرفی هدف اصلی این تحقیق صرفاً مقایسه‌ی توپوگرافی بستر در گزینه‌های مختلف نصب صفحات با فواصل مختلف می‌باشد و این تحقیق دنبال این نیست که مثلاً از طریق اندازه‌گیری میزان عمق آبستتگی در مدل بخواهد عمق آبستتگی کارون در محدوده طرح را پیش‌بینی نماید، لذا اندازه متوسط ذرات رسوبی مصالح بستر در مدل برابر ۱/۸۵ میلی‌متر اختیار گردید. این اندازه ماسه با آزمایش‌های اولیه و سعی و خطا طوری تعیین شد که اولاً شرایط آب زلال در مدل حاکم باشد و ثانیاً در دبی‌های مورد نظر میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در اطراف صفحه طوری باشد که دقت لازم را در سنجش‌ها ایجاد کند. بستر ماسه‌ای در ابتدای هر آزمایش در تراز معادل تراز نرمال بستر کاملاً تسطیح می‌گردید. آزمایش‌ها در دبی‌های ۱۶/۵، ۱۸ و ۱۹/۵ لیتر بر ثانیه (مقیاس شده با کمتر، برابر و بزرگتر از دبی سیل با دوره دو ساله رودخانه کارون در این محدوده) با عمق ۱۲ سانتی‌متر (۶ متر عمق آب در بازه مستقیم پایین دست رودخانه کارون) معادل اعداد فرود ۰/۲۳، ۰/۲۶ و ۰/۲۹ انجام شد. ارتفاع سازه‌ها بر اساس معیار استاندارد صفحات مثلثی بگونه‌ای در نظر گرفته شد که تراز تاج سازه (که چسبیده به ساحل بیرونی بود) و تراز سطح آب، یکسان باشند (Bahrami, Yarahmadi and Shafai Bejestan, 2016 b,c). توضیح اینکه در تمام آزمایش‌های با بستر ماسه عمق آب توسط دریچه پایین دست طوری کنترل می‌شد تا شرایط هیدرولیکی مدل با توجه به داده‌های واسنجی قبلی ثابت بماند.



شکل ۲- مدل فیزیکی قوس جنگیه



شکل ۳- بازه‌ی مدل شده قوس جنگیه رودخانه کارون

میرزاد و شفای بجستان: بررسی تأثیر فاصله قرارگیری صفحات مثلثی...

کارون از فواصل ۴، ۵، ۶ و ۸ برابر طول مؤثر صفحات استفاده گردید.

پیش از آغاز هر آزمایش، صفحات مثلثی با زاویه مذکور نصب گردیده، سپس سطح رسوبات تراز شده، با تنظیم دبی و عمق جریان که به وسیله دریچه کشویی نصب شده در پایین مدل صورت می‌گرفت آزمایش شروع می‌شد. کلیه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال صورت گرفت. در انتهای هر آزمایش که ۱۸۰ دقیقه به طول می‌انجامید با خاموش کردن پمپ، زهکشی کامل آب بگونه‌ای صورت می‌گرفت که توپوگرافی بستر تحت تأثیر شرایط جریان دستخوش تغییر قرار نگرفته و خطایی ایجاد نگردد. پروفیل بستر با استفاده از متر لیزی روی اسکلت تراز و مدرج شده برداشت می‌گردید. لازم به ذکر است که شبکه برداشت پروفیل بستر به علت تغییرات پروفیل بستر کاملاً متغییر بود. شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) نمایی از مدل، تعلقات آن و نحوه قرارگیری صفحات را نشان می‌دهند.

در این تحقیق از صفحات مثلثی شکل به جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۴ میلی‌متر استفاده شد. کلیه صفحات دارای زاویه ۳۰ درجه نسبت به ساحل بالادست بوده و به دلیل متغیر بودن عرض مقاطع، ابعاد صفحات به نحوی در نظر گرفته شد که طول مؤثر صفحات معادل ۲۰ درصد عرض مجرا در مقطع مورد نظر باشد. منظور از طول مؤثر صفحات طول عمود بر ساحل آن‌ها می‌باشد. ارتفاع صفحات نیز برابر با عمق آب در محل قرارگیری صفحه در نظر گرفته شد. این ابعاد با توجه به نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط Shafai Bejestan و Bahrami Yarahmadi (2016) در نظر گرفته شده است.

ابتدا در آزمایش‌های شاهد (بدون حضور صفحات مستطیلی) منطقه فرسایش پذیر مشخص گردیده و سپس صفحات در این منطقه نصب گردید به نحوی که صفحه اول در ابتدای منطقه فرسایش پذیر قرار گرفته و تعداد سازه‌ها به نحوی در نظر گرفته شد که منطقه‌ی فرسایش پذیر پوشش داده شود. به منظور بررسی تأثیر فاصله بین صفحات مثلثی بر توپوگرافی بستر در قوس جنگیه رودخانه



شکل ۴- مشخصات مدل فیزیکی قوس جنگیه و متعلقات آن



شکل ۶- موقعیت قرارگیری صفحات نسبت به قوس



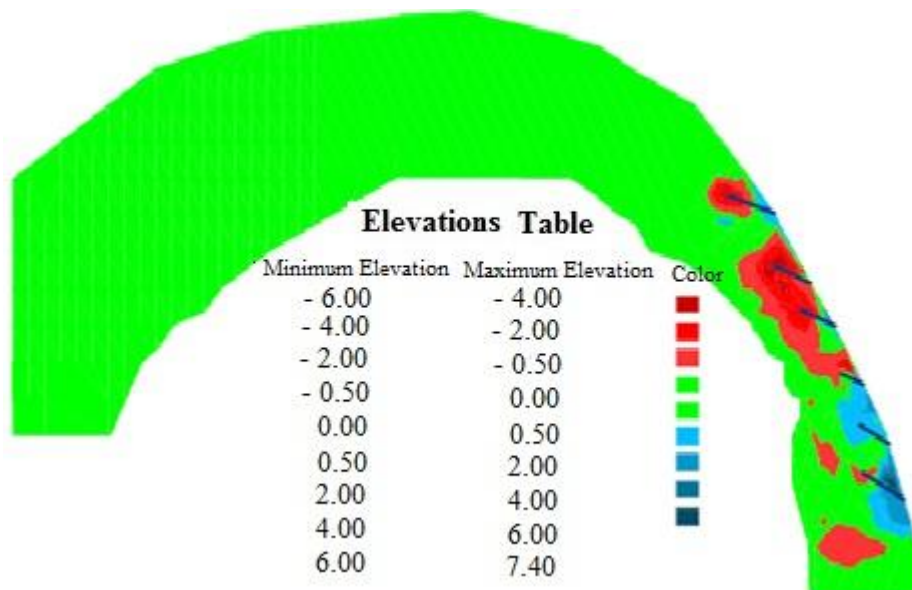
شکل ۵- نحوه قرارگیری صفحات متصل به ساحل در مجرا

فرسایشی مشاهده نگردید. علت این مسأله عریض بودن مقطع قوس در این بازه و کم بودن سرعت جریان می باشد. بعد از این بخش با توجه به کاهش عرض مقطع و به تبع آن افزایش سرعت جریان فرسایش صورت می گرفت. به همین دلیل در شکل های (۸)، (۹) و (۱۰) که به ترتیب توپوگرافی بستر در فواصل 4Le، 6Le و 8Le را نشان می دهند به منظور پرهیز از تکرار فقط بخش فرسایش پذیر نشان داده شده است.

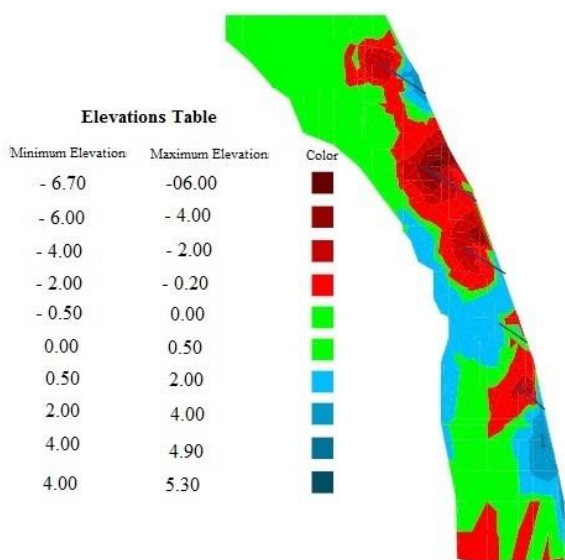
نتایج و بحث

الگوی فرسایش و رسوب گذاری

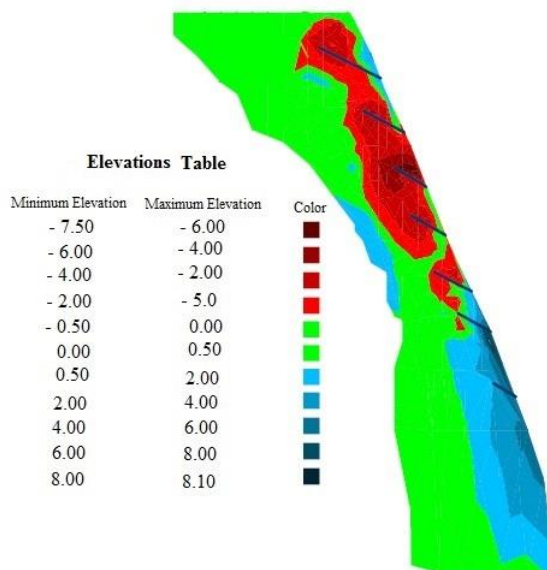
در این تحقیق توپوگرافی بستر قوس پس از برداشت به وسیله ی متر لیزی با استفاده از نرم افزار Civil3D ترسیم گردید. شکل (۷) توپوگرافی بستر در عدد فرود ۰/۲۹ به ازای فاصله پنج برابر طول مؤثر صفحات (5Le) را نشان می دهد. همانند شکل ترسیم شده، در سایر آزمایش ها نیز بخش ابتدایی قوس تا محل فرارگیری سازه اول



شکل ۷- تغییرات توپوگرافی بستر قوس در فاصله 5Le برای عدد فرود ۰/۲۹

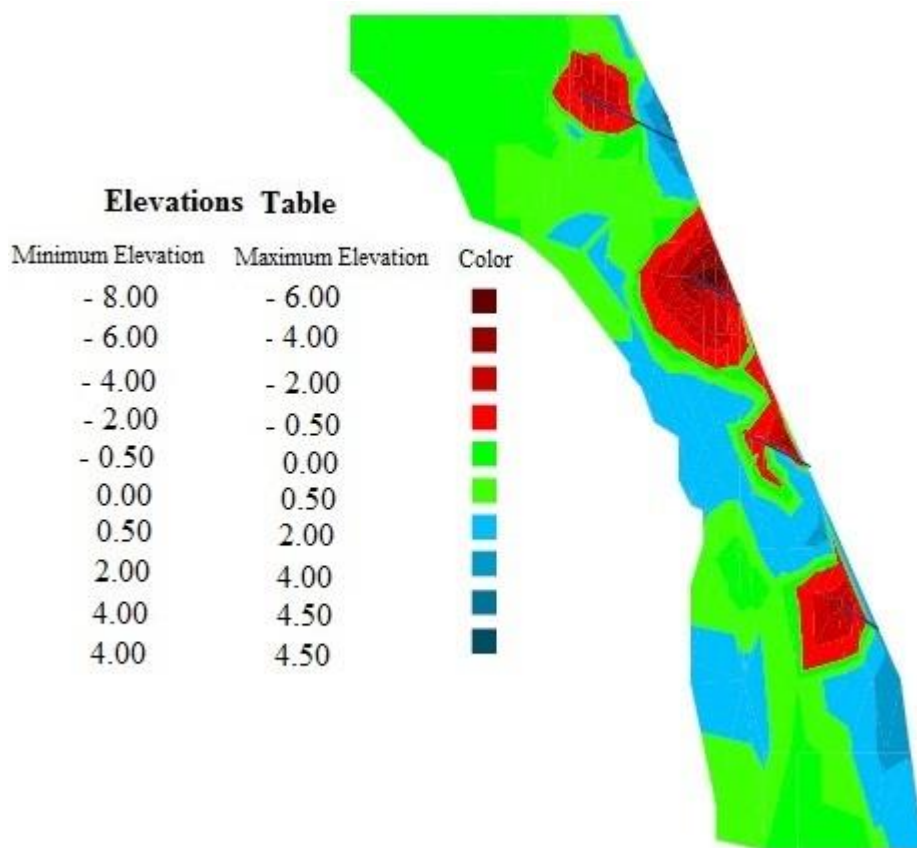


شکل ۹- تغییرات توپوگرافی بستر قوس در فاصله 6Le برای عدد فرود ۰/۲۹



شکل ۸- تغییرات توپوگرافی بستر قوس در فاصله 4Le برای عدد فرود ۰/۲۹

میرزاد و شفاعی بجمستان: بررسی تأثیر فاصله قرارگیری صفحات مثلثی...



شکل ۱۰- تغییرات توپوگرافی بستر قوس در فاصله 8Le برای عدد فرود ۰/۲۹

است. در فواصل 6Le و 8Le هر چند به دلیل افزایش فاصله سازه ها از هم رسوبات در منطقه بحرانی ترسیب یافته اند ولی به دلیل زیاد شدن فاصله بین سازه اثر آن ها روی هم کم شده و ضمن زیاد شدن میزان فرسایش حداکثر عمق آبستگي فرسایش دماغه به ساحل بیرونی رسیده است.

در یک جمع بندی می توان گفت با کاهش فاصله سازه ها به دلیل تأثیر سازه ها روی هم میزان فرسایش کاهش می یابد، ولی از سویی دیگر کاهش فاصله سازه ها باعث می گردد که رسوب گذاری در آن ناحیه صورت نگیرد. مشاهدات نشان می داد که در بالادست سازه و در حدفاصل سازه تا قوس بیرونی یک جریان ماند تشکیل می گردید. این جریان ماند باعث جلوگیری از ترسیب رسوبات می گردید به نحوی که رسوبات فرسایش یافته از سازه بالادست توانایی ترسیب در این ناحیه را نداشته و همراه جریان منتقل می شدند. همین مسأله سبب شده که میزان حداکثر عمق آبستگي در فاصله 4Le نسبت به فاصله 5Le بیشتر باشد.

با دقت در شکل ها مشاهده می شود که عمده آبستگي در اطراف پنجه سازه ها صورت می گیرد. گسترش فرسایش دماغه سازه و رسیدن آن به ساحل بیرونی سبب ناپایداری ساحل رودخانه می شود. در فواصل 4Le، 5Le و 6Le حد فاصل بین سازه ی شماره ۲ تا سازه ی شماره ۴ منطقه ی بحرانی می باشد. علت این امر کم بودن عرض مجرا در این ناحیه و به تبع آن فاصله کم دماغه سازه از ساحل و سرعت بالای جریان در این منطقه می باشد.

در فاصله 4Le در حدفاصل بین سازه شماره ۱ تا ۴ رسوبات حاصل از فرسایش پنجه صفحات به دلیل نزدیک بودن سازه ها به هم در حد فاصل بین صفحات و در ساحل بیرونی، همراه با جریان منتقل شده و در انتهای قوس ترسیب می یابند. در حد فاصل بین سازه های شماره ۴ تا ۷ رسوبات در قوس بیرونی ترسیب یافته و ضمن ساحل سازی در قوس بیرونی با پر کردن چاله ی فرسایشی، فرسایش دماغه سازه ها را نیز کنترل نموده است. در فاصله 5Le رسوبات در حد فاصل بین سازه ها و در قوس بیرونی ترسیب یافته که با پر کردن چاله ی فرسایشی باعث کنترل فرسایش ساحل در منطقه ی بحرانی گردیده است. هم چنین در انتهای قوس نیز پشته ی رسوبی شکل گرفته است که به منظور ساحل سازی حایز اهمیت

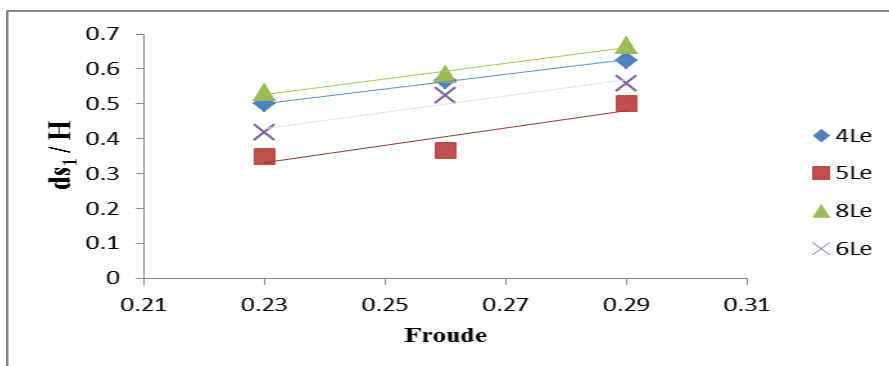
میزان آبستگی افزایش یافته است به نحوی که در هر فاصله عدد فرود ۰/۲۳ کم ترین میزان آبستگی و در عدد فرود ۰/۲۹ بیشترین میزان آبستگی صورت گرفته است. این امر به دلیل افزایش قدرت گردابه‌های جریان با افزایش عدد فرود در اطراف صفحات می‌باشد.

در شکل (۱۲) پروفیل عرضی حداکثر عمق آبستگی برای فواصل 4Le و 6Le به ازای دبی‌های مختلف نشان داده شده است. محور عمودی آن‌ها بیانگر اعماق آبستگی و رسوب‌گذاری و محور افقی نشان‌دهنده فاصله نسبی از ساحل خارجی می‌باشد. همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود محل حداکثر عمق آبستگی به طرف ساحل بیرونی متمایل شده است. همچنین مشاهده می‌گردد که فرسایش به ساحل بیرونی رسیده است که این مساله باعث ناپایداری ساحل بیرونی می‌شود. در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود که در هر سه عدد فرود محل وقوع حداکثر عمق آبستگی به ساحل بیرونی رسیده است و با افزایش عدد فرود میزان آن افزایش یافته است.

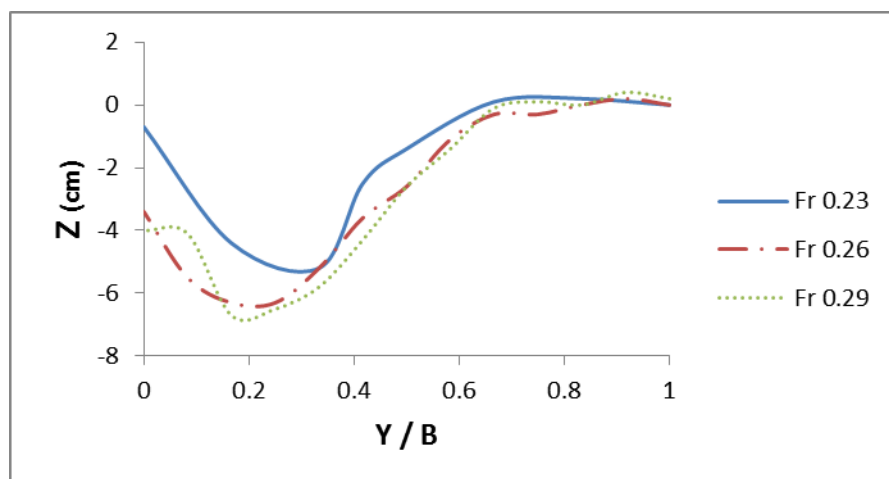
مشاهدات بصری با استفاده از جسم شناور در آزمایش‌ها نشان می‌داد که صفحات مثلثی سبب انحراف جریان از قوس بیرونی به سمت مرکز مجرا و وقوع حداکثر عمق آبستگی در مرکز مجرا می‌شدند. این مساله یک مزیت برای کنترل فرسایش قوس بیرونی و توسعه قایق رانی در قوس به جهت گود شدن مرکز مجرا می‌باشد.

عمق آبستگی

در کلیه آزمایش‌ها حداکثر عمق آبستگی در پنجه سازه‌ها اتفاق می‌افتاد. بررسی عوامل مؤثر بر حداکثر عمق آبستگی و همچنین فاصله آن از ساحل بیرونی، به جهت پایداری سازه و ساحل بیرونی حایز اهمیت است. در شکل (۱۱) تغییرات نسبی حداکثر عمق آبستگی به عمق جریان در فواصل مختلف به ازای دبی‌های مختلف جریان نشان داده شده است. در شکل (۱۱) محور عمودی عدد بی بعد حداکثر عمق آبستگی (ds_1) نسبت به عمق جریان در بازه‌ی مستقیم پایین دست (H و محور افقی بیانگر عدد فرود می‌باشد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود



شکل ۱۱- نمودار بی بعد حداکثر عمق آبستگی به ازای دبی‌ها و فواصل مختلف



شکل ۱۲- پروفیل عرضی مقاطع با حداکثر عمق آبستگی به ازای دبی‌های مختلف در فاصله 6Le

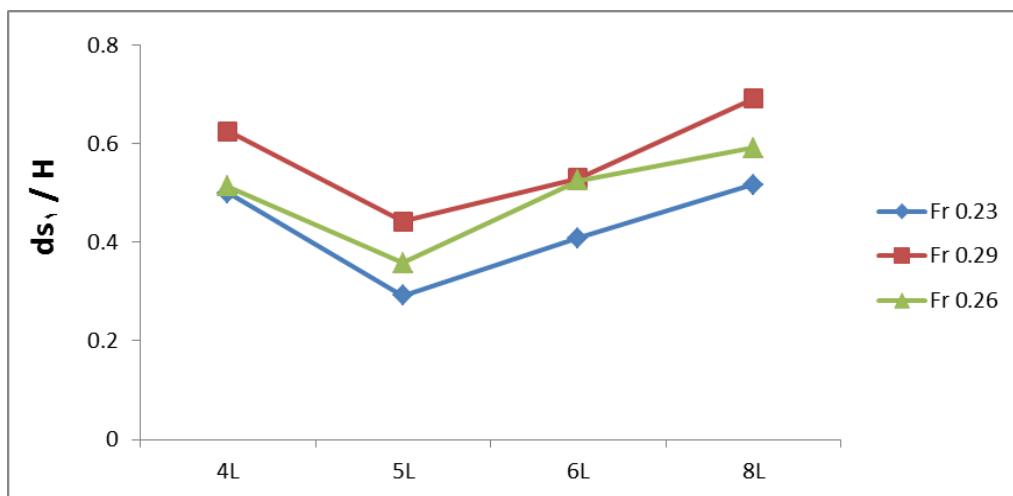
ترسیب رسوبات

در بحث ساماندهی رودخانه‌ها در قوس‌ها علاوه بر کنترل فرسایش ساحل بیرونی با استفاده از سازه‌های اصلاح کننده الگوی جریان و انتقال چاله‌ی فرسایشی از ساحل بیرونی به طرف مرکز رودخانه، پر کردن چاله‌ی فرسایشی ساحل بیرونی و ساحل سازی در ساحل بیرونی می‌تواند حایز اهمیت باشد. رسوبات حاصل از فرسایش در پنجه سازه و نیز رسوباتی که از بالادست به سازه نزدیک می‌شوند تحت تأثیر الگوی خاصی که در اطراف سازه شکل می‌گیرد، در پایین دست آن ترسیب می‌کنند؛ بنابراین نحوه ترسیب رسوبات توسط صفحات مثلثی و عوامل مؤثر بر آن ضروری می‌باشد.

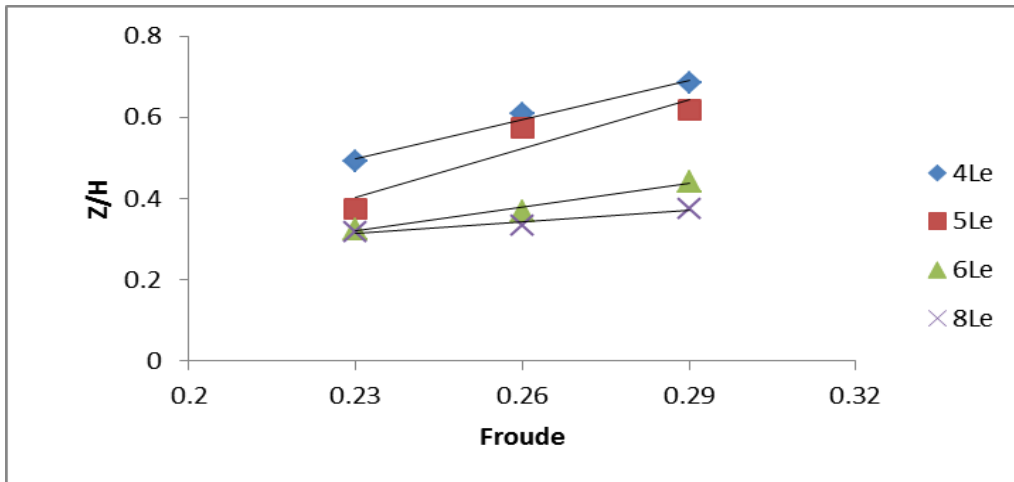
در شکل (۱۴) نمودار بی بعد حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری برای فواصل مختلف ترسیم شده است. محور افقی عدد بی بعد فرود و محور عمودی نسبت بی بعد حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری به عمق جریان می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش فاصله سازه‌ها ارتفاع رسوب‌گذاری کاهش می‌یابد. هر چقدر فاصله بین سازه‌ها افزایش یابد رسوبات در طول بیشتری و در راستای قوس بیرونی ترسیب می‌یابند؛ بنابراین ارتفاع تاج پشته رسوبی کاهش می‌یابد. به طوری که در اعداد فرود مختلف بیشترین ارتفاع رسوب گذاری در فاصله $4L$ و کم‌ترین ارتفاع رسوب گذاری در فاصله $8L$ رخ داده است.

در شکل (۱۳) نسبت بی بعد حداکثر عمق آبستگی به عمق جریان در بازه‌ی مستقیم پایین‌دست به ازای فواصل مختلف صفحات در هر دبی جریان نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در بخشی از نمودار با کاهش فاصله بین صفحات حداکثر عمق آبستگی کاهش می‌یابد؛ اما با کاهش بیشتر فاصله بین صفحات اثر سازه معکوس گردیده و میزان حداکثر عمق آبستگی افزایش می‌یابد.

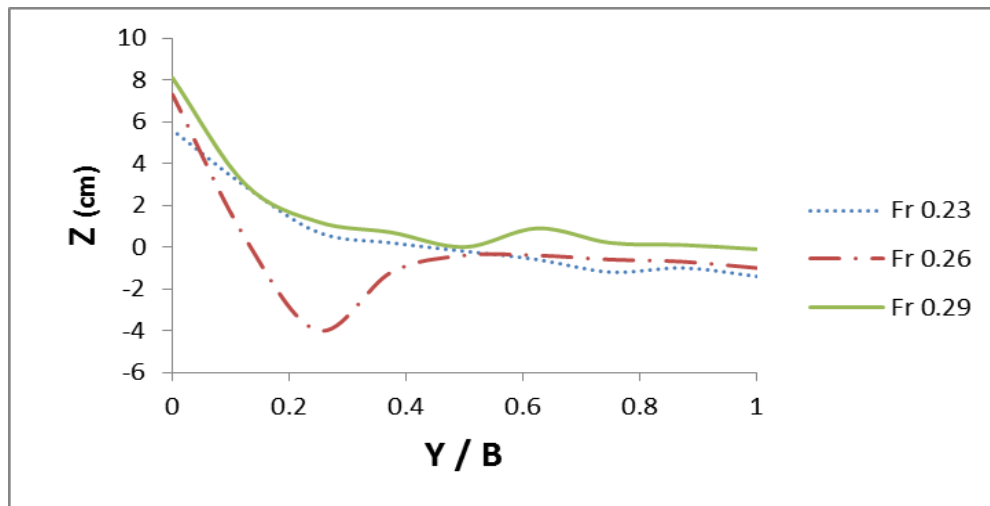
بیشترین میزان آبستگی در هر دبی جریان مربوط به فاصله $8L$ می‌باشد. این امر به دلیل فاصله زیاد بین صفحات است که سبب شده است اثر سازه‌ها روی یکدیگر از بین رفته و هر سازه به صورت منفرد عمل نماید؛ بنابراین میزان آبستگی افزایش یافته است. هر چند در فاصله $4L$ کمتر شده اما با توجه به تشکیل جریان ماند در بالادست سازه و حد فاصل سازه تا ساحل بیرونی، رسوبات فرسایش یافته توانایی ترسیب و پرکردن چاله‌ی فرسایشی را نداشته و همراه با جریان منتقل می‌شدند. به همین دلیل میزان عمق آبستگی در فاصله چهار برابر طول مؤثر نسبت به 5 برابر طول مؤثر افزایش یافته است. در کلیه دبی‌های جریان کمترین میزان آبستگی نسبی در فاصله 5 برابر طول مؤثر رخ داده است که نشان دهنده فاصله مناسب صفحات برای این قوس می‌باشد.



شکل ۱۳- نمودار بی بعد حداکثر عمق آبستگی فواصل مختلف



شکل ۱۴- نمودار بی بعد حداکثر ارتفاع رسوب گذاری در فواصل مختلف



شکل ۱۵- پروفیل عرضی مقاطع با حداکثر ارتفاع رسوب گذاری به ازای دی های مختلف در فاصله 4Le



شکل ۱۶- محل تشکیل جریان ماند

فرسایش مشاهده می‌گردید. با تغییر فاصله بین صفحات مشخص گردید بیشترین میزان آبستتگی در هر دبی جریان مربوط به فاصله 8Le می‌باشد. این امر به دلیل فاصله زیاد بین صفحات است که سبب شده است اثر سازه‌ها روی یکدیگر از بین رفته و هر سازه به صورت منفرد عمل نماید؛ بنابراین میزان آبستتگی افزایش یافته است. هر چند در فاصله 4Le میزان آبستتگی کمتر شده اما با توجه به تشکیل جریان ماند در بالادست سازه و حد فاصل سازه تا ساحل بیرونی، رسوبات فرسایش یافته توانایی ترسیب و پرکردن چاله‌ی فرسایشی را نداشته و همراه با جریان منتقل می‌شدند. به همین دلیل میزان عمق آبستتگی در فاصله چهار برابر طول مؤثر نسبت به ۵ برابر طول مؤثر افزایش یافته است. در کلیه دبی‌های جریان کمترین میزان آبستتگی نسبی در فاصله ۵ برابر طول مؤثر رخ داده است که نشان دهنده فاصله مناسب صفحات برای این قوس می‌باشد.

رسوبات حاصل از فرسایش توسط جریان نزدیک بستر و به موازات محور سازه به طرف ساحل بیرونی منتقل شده و در پایین دست سازه ترسیب یافتند. نتایج نشان داد که با افزایش عدد فرود، ارتفاع پشته‌ی رسوبی بیشتر می‌شود. علت این مساله بیشتر شده میزان فرسایش دماغه صفحات با افزایش عدد فرود می‌باشد. همچنین با افزایش فاصله بین صفحات ارتفاع پشته‌ی رسوبی کاهش می‌یابد زیرا رسوبات در طول بیشتر و در راستای قوس بیرونی ترسیب می‌یابند.

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که صفحات مثلثی متصل به ساحل تا حدود زیادی از فرسایش قوس بیرونی جلوگیری می‌نماید و رسوب‌گذاری بین صفحات می‌تواند باعث ایجاد ساحل جدید در قوس بیرونی شود. لذا استفاده از این صفحات مثلثی به منظور حفاظت از قوس بیرونی در رودخانه‌های مائندری در برابر فرسایش، به‌ویژه با توجه به نقش ساحل سازی آن در اجرای پروژه‌های ساماندهی رودخانه توصیه می‌گردد.

در شکل (۱۵) پروفیل عرضی حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری در فاصله 4Le به ازای دبی‌های مختلف جریان ترسیم شده است. محور عمودی نشان دهنده مقدار آبستتگی و یا رسوب‌گذاری در هر نقطه و محور افقی نشان دهنده فاصله هر نقطه از ساحل خارجی می‌باشد. همان‌طور که در شکل مشخص است به ازای اعداد فرود مختلف رسوبات در قوس بیرونی ترسیب یافته‌اند و محل حداکثر ارتفاع ترسیب نیز در مجاورت قوس بیرونی می‌باشد.

مشاهدات نشان داد که با شروع فرسایش در پنجه سازه‌ها رسوبات حاصل از آن در راستای محور سازه به طرف ساحل بیرونی حرکت می‌کنند. در صورتی که فاصله سازه‌ها نسبت به هم زیاد باشد رسوبات در طول زیادی از مجرا و در راستای قوس بیرونی قبل از رسیدن به سازه‌ی بعدی ترسیب می‌یابند؛ اما با کاهش فاصله بین سازه‌ها رسوبات به دلیل تشکیل جریان ماند در بالادست سازه‌ی بعدی و در حد فاصل بین سازه و قوس بیرونی به طرف مرکز مجرا منحرف می‌شوند. محل تشکیل جریان ماند در شکل (۱۶) مشخص شده است. رسوبات همراه جریان یا در میانه‌ی مجرا ترسیب می‌یابند و یا همراه جریان منتقل شده و در انتهای قوس ترسیب می‌یابند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی تأثیر فاصله صفحات مثلثی بر توپوگرافی بستر قوس جنگیه رودخانه کارون که یک قوس ۱۸۰ درجه می‌باشد پرداخته شد. نتایج نشان دادند که با افزایش عدد فرود حداکثر عمق آبستتگی افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده گردید که عمده آبستتگی در اطراف پنجه صفحات رخ می‌دهد.

در بخش ابتدایی قوس تا قبل از محل قرارگیری سازه اول، به دلیل عرض بالای مقطع و پایین بودن سرعت جریان فرسایشی مشاهده نگردید؛ اما با کم شدن عرض مقطع در بخش انتهایی قوس

منابع

- 1- Bahrami Yarahmadi, M.. and Shafai Bejestan, M., 2014. Bed Topography Variations in a 90° Mild Bend Due to Triangle-Shaped Spur Dike. *Modares Journal of Civil Engineering*, 14(3)165-175. (in Persian).
- 2- Bahrami Yarahmadi, M., Shafai Bejestan, M. 2016 a. 'Comparison of Erosion and Sedimentation Patterns Facilitated by a Spur Dike and a Triangular-Shaped Vane Structures in a 90° Mild Bend under the Influence of Different Froude Numbers', *Journal Managemen System*, 8(27):31-42. (in Persian).
- 3- Bahrami Yarahmadi. M. and Bejestan, M.S., 2016 b. Sediment management and flow patterns at river bend due to triangular vanes attached to the bank. *Journal of Hydro-environment Research*, 10, pp.64-75.

- 4- Bahrami Yarahmadi. M. and Shafai Bejestan, M., (2016), "Study of the Effect of Length Variations of Triangular-Shaped Vanes on Erosion and Sedimentation Pattern in a 90° Mild Bend" , *journal of Civil Engineering*, 27(1): 87-100. (in Persian).
- 5- Bhuiyan, f. Hey, R. D., Wormleaton, P. R.2010. Bank-Attached vanes for Bank Erosion Control and Restoration of River Meanders. *Journal of Hydraulic Engineering*. 136 (9), 583-596.
- 6- Hemmati, M., Gomeishi, M., Kashefipour, S. (2013). 'Experimental Investigation on the Effect of the Bendway Weir Angle on the Erosion and Sedimentation Pattern in Meandering River', *Iran Water Resources Research*, 8(3), pp. 66-76.
- 7- Hey, R. D. 1992. *River Mechanics and Habitat Creation*. Institute of Fisheries Management, Nottingham, UK. 271-275
- 8- Hey, R. D. 1996. *Environmentally Sensitive River Engineering*. Blackwell Science, Oxford, UK. 80-105
- 9- Shafai Bejestan, M.,(2012). *Physical-Hydraulic Models*. Shahid Chamran University of Ahvaz Publications. (in Persian).
- 10-Shields, F.D. 2002. Design of Habitat Structure for Open Channels. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 109 (4), 331-344
- 11-Zahiri. J., 2012. Investigation on Flow Hyraulics & Riprap Stability around Spur Dike in 90° Bend. Ph.D. Shahid Chamran University of Ahvaz. Iran. (in Persian).



EXTENDED ABSTRACT

Investigating the Effect of Coastal Triangular Boundaries on the Topography of the 180-Degree of the Jangiye Bend of the Karoon River using a Physical Model

M. Mirzad¹ and M. Shafai Bejestan^{2*}

1- Former Grad. Student, Faculty of Water Science and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

2* - Corresponding Author, Professor, Department of Hydraulic structures, Faculty of Water Sciences and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (*m_shafai@yahoo.com*).

Received: 25 May 2016

Revised: 3 January 2017

Accepted: 5 January 2017

Keywords: Environmental Structures, Triangular Vanes, River Bend, Bank erosion, Distorted River Model.

Introduction

Meandering river bend migration is a common phenomenon which destroys agricultural lands and civil infrastructures around the river. The main cause of such migration is due to developing a secondary flow within the bend in which a helicoidally circulation is developed and as a results the scour hole at the outer bank toe is created which causes collapse of the outer bank and its migration. Over the last decade many countermeasures against such scour have been developed. These measures modify the flow within the bend redistribute the local bed shear stress for the purpose of reducing the toe bank scour. Triangular vanes are one of such structures that help stabilize the outer bank by modifying the flow pattern in the river bend to prevent the scouring of the outer bank. Triangular vanes have been studied successfully by Bhuiyan et al. (2010) in a sinuosity river path and in a 90 degree flume bend by Bahrami-Yarahmadi and Shafai Bejestan (2016). Based on these studies this measure, if designed properly, not only can shift the scour from the outer bank toe to the middle of the river, it transport sediment to the downstream of the vane and deposited in between the vanes which create a new bank. The structure has been defined environment friendly since it create an environment suitable for aquatic animals. The aim of the present study is to investigate the application of triangular vanes in a 180 degrees of Jangiye bend in Karoon River south of Ahvaz and to determine the best distance for installing the vanes.

Material and Methods

The experimental work was carried out in the Hydraulic Laboratory of Shahid Chamran University of Ahvaz. First, a distorted physical model of a 180-degree convergent bend of Jangiye which is located at the downstream of Ahvaz along the Karoon River was constructed with a horizontal scale of 300 and a vertical scale of 50. Figs. (1) and (2). Then the model was hydraulically calibrated by adding artificial roughness to have the Froude number ratio equal to one. The average size of bed sediment particles was 1.85 mm in the model. This size of sand was determined by initial tests to maintain the clear water condition in the model, and for the range of flow conditions, the erosion and sedimentation around the vane provide the required accuracy in the measurements. At the beginning of each test, the bed was carefully leveled. The experiments were carried out at 16, 18,

and 19.5 l/s (scaled to less than, equal to and larger than with a two-year return period flood discharge of the Karoon River) with constant flow depth of 12 cm. The height of the vane was selected according to previous studies. Triangular vanes were made of plexiglas and installed with angle of 30 degrees to the upstream bank. The effective length of the vanes was taken equal to the river width at its location (Bahrami Yarahmadi and Shafai Bejestan., (2016). Vanes were installed in series in the downstream segment of the bend which bank failure due to toe scour is very active (Fig. 3).



Fig. 1- Jangiye Bend (prototype)

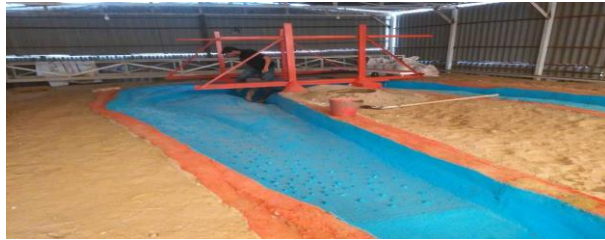


Fig. 2- Jangiye Bend (distorted model)



Fig. 3- a view of installed triangular vanes installed

In the present study two series of tests were conducted with and without installed vanes. Each test carried out under three different flow conditions and at the end of each test the bed topography was measured using laser meter. Test with vanes were conducted with installed vanes with different vanes distance of 4, 5, 6 and 8 times of the effective vane length.

Results

The bed topography of each test were plotted using SURFER software. Fig.4 show as an example for test with installed vanes with distance of 5 times the effective vane length and Froude number 0.29. The scour dimensions were extracted from these figures and compared. Fig (5) shows that as the Froude number increase, the scour dimensions increase too.

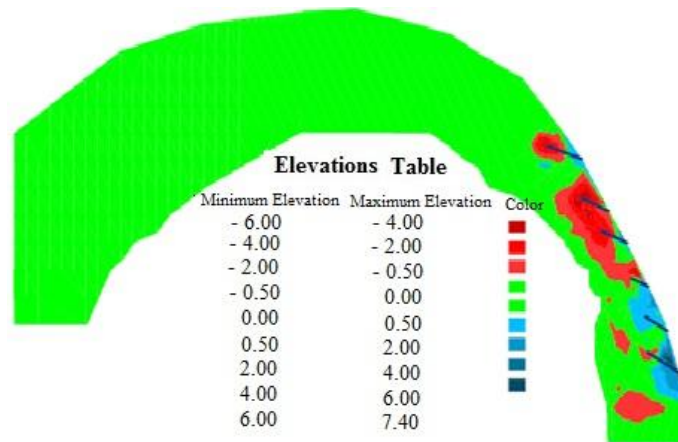


Fig. 4- Bed topography for Fr=0.29

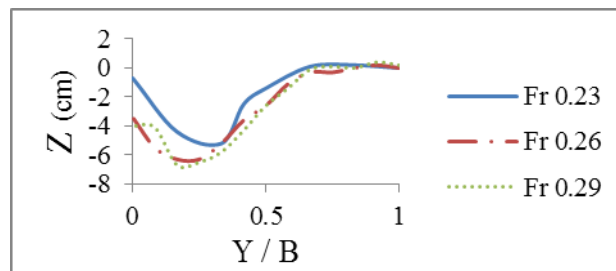


Fig. 5- Scour profile for different flow conditions

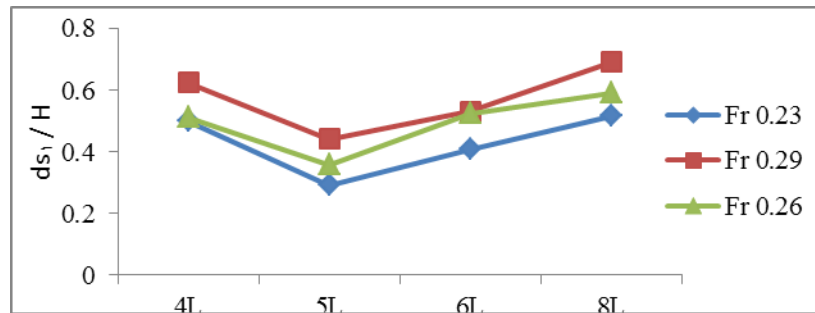


Fig 6- dimensionless scour depth versus vane distance for different flow conditions

Fig.(6) shows variation of dimensionless scour depth versus distance between vanes. As it shows the scour depth increases as the effective length increase from 4L to 5L and then increase for vane distances of 5L, 6L and 8L.

The maximum scouring depth occurs at vane distance of 8L. This is due to the large spacing between the vanes, which has the effect of reducing the vane on each other, and each structure acts individually, thus scouring is increased. In all flow conditions, the minimum scouring ratio was measured when the vane were installed at 5 times the effective length, indicating the appropriate distance between the vanes for this bend. The observations showed that when the scouring is started, the sediments move along the axis of the structure towards the outer bank. If the spacing of the structures is relatively large, the sediments along the length of the channel and in the direction of the outer bank are deposited before reaching the next structure, by reducing the distance between the structures (e.g. 4L in this study), the sediments due to the formation of a strong clockwise horizontal

vortex in between the vanes, are shifted toward to the flume center and transported to the downstream and therefore the scour depth at the vane's toe increases.

Conclusion

The results of this study indicated that triangular vanes, if installed at proper distance prevent the erosion of the outer bank to a large extent. Sediment deposition in between the vanes can create a new outer bank. The scour at the toe of the vane can cause the instability of the vane and it was found that when the vane are installed with distance of $5L$, minimum scour depth occur, and the sedimentation between the vanes is maximum. Therefore, the use of these triangular vanes is recommended in order to protect the outer bank in the meandering rivers.

References

- 1- Bahrami-Yarahmadi, M. and Shafai-Bejestan, M. (2016). 'Sediment management and flow patterns at river bend due to triangular vanes attached to the bank', *J. of Hydro-environment Research*, 10(1):64-75.
- 2- Bhuiyan, f. Hey, R. D., Wormleaton, P. R.2008. Effect of Vanes and Weirs on Sediment Transport in Meandering Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. 135 (5), 339-349.