

کنترل جابه‌جائی عرضی قوس‌های رودخانه‌ای با نصب صفحات شناور

عزیز سوزه پور^{۱*}، محمود شفاعی بجنستان^۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۱۶

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: asozapor@yahoo.com

چکیده

فرآیندهای طبیعی در رودخانه‌های مائندری نظیر آبشستگی در قوس خارجی و رسوب‌گذاری در قوس داخلی باعث انتقال عرضی قوس رودخانه در جهت پائین‌دست می‌گردند. تاکنون روش‌های متعددی برای کنترل این انتقال ارائه شده است. در این مطالعه اثرات کاربرد صفحات شناور در میزان عمق آبشستگی و رسوب‌گذاری در قوس رودخانه بررسی شده است. برای این منظور مدل فیزیکی با بستر متحرک از قوس ۱۸۰ درجه رودخانه کارون واقع در جنوب اهواز ساخته شد. همچنین اندازه‌گیری‌های توپوگرافی بستر فلوم نشان داد که قوس در بازه ۱۳۰ درجه تا پائین‌دست قوس دچار آبشستگی زیادی می‌باشد. از این رو در مدل تعداد هفت صفحه شناور به صورت متوالی در قوس خارجی بازه فوق نصب گردیدند و تحت سه عدد فرود ۰/۱۸، ۰/۲۰ و ۰/۲۲ مورد آزمایش قرار گرفتند. در تمام آزمایش‌ها عمق جریان ثابت بود. ابعاد صفحات نیز بر اساس توصیه‌های ادگار برای صفحات مستغرق طراحی شد. با برداشت توپوگرافی بستر توسط متر لیزری و وارد کردن نتایج حاصل به نرم‌افزار تک پلات (Tecplot)، وضعیت توپوگرافی ترسیم شد و نتایج به دست آمده نشان داد که با نصب صفحات شناور بیشینه عمق آبشستگی در سه عدد فرود ۰/۱۸، ۰/۲۰ و ۰/۲۲ به ترتیب ۵۰ درصد، ۵۰ درصد و ۴۰ درصد کاهش است. همچنین کارگذاری صفحات شناور باعث رسوب‌گذاری در پاشنه ساحل خارجی شده و باعث ساحل‌سازی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: رودخانه، رسوب‌گذاری، صفحات شناور، قوس، مدل فیزیکی

Control of Lateral Movement of River Bends by Installing the Floating Vanes

A Sozepoor^{1*}, M Shafai Bejestan²

Received: 2016.03.30

Accepted: 2017.06.06

1-PhD Student of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

2-Prof., Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

*Corresponding Author, Email: asozapor@yahoo.com

Abstract

Natural phenomena such as bed scouring in the outer bank and deposition in the inner bank of meandering rivers cause lateral migration of the river bend in the downstream direction. So far, different measures have been developed to control this movement. In the present study, the influences of floating vanes application on bed scouring and deposition in river bend has been investigated experimentally. For this purpose, a physical model of Karoon river 180-degree bend at the south of Ahvaz city was constructed. Also flume bed topography measurement showed that the bend scour had been occurred from 130 degrees' location to the end of the bend. Therefore, seven floating vanes were installed in series at this bend segment and tested under three different Froude numbers ($=0.18, 0.20$ and 0.22). The flow depth was kept constant for these tests. The vanes dimensions were designed according the Odgaard's recommendations for submerged vanes. Bed topography maps were measured using a laser meter and contour lines were plotted using the Tecplot software. The results showed that with installing floating vanes, the maximum scour depth reduced as much as 50%, 50% and 40% for Froude numbers equal to 0.18, 0.20 and 0.22, respectively. It was also found that generally the scour depth not only was shifted toward the inner bend, sediment deposition also was observed at the outer bank.

Keywords: Bend, Floating vanes, Physical model, River, Sedimentation

مقدمه

ژئوتکنیک مواد ساحل دارد که این پیش‌بینی به دلیل این- که امتداد جریان با شرایط تغییر می‌کند و تابع زمان نیست و بررسی وسیع مواد تشکیل‌دهنده در طول ساحل رودخانه مورد نیاز است، دشوار می‌باشد. شدت انتقال مئاندرهای یک رودخانه هم‌چنین به ظرفیت حمل رسوب و این‌که آبراهه در حال گود افتادگی یا رسوب‌گذاری است بستگی دارد (اسکلافانی ۲۰۱۰). مدیریت رسوب در محل قوس‌ها از جمله روش‌های کنترل و یا تضعیف این پدیده می‌باشد که به طرق مختلفی امکان پذیر است. روش صفحات مستغرق از جمله یکی از روش‌هایی است که به- طور مؤثری می‌تواند با مدیریت مناسب رسوب در قوس شرایطی را فراهم نماید که تغییرات عرضی رودخانه در محل قوس به کمینه برسد و علاوه بر آن با رسوب‌گذاری

پدیده‌های طبیعی مانند ایجاد چاله در بستر آبراهه‌های مئاندردی نزدیک قوس خارجی و نیز تشکیل تپه‌های رسوبی در قوس داخلی باعث می‌شود تا خم‌های رودخانه در جهت عرضی به سمت پائین‌دست انتقال کنند. چنین فرآیندی که منجر به تغییرات مرفولوژیکی رودخانه می‌گردد خسارات سنگینی را نیز به اراضی مجاور وارد می‌نماید. خصوصیات جریان در قوس‌ها می‌تواند الگوهای رسوب‌گذاری و فرسایش را به‌خوبی توضیح دهد. رودخانه‌ها به طریقه‌های مختلفی جابه‌جا شوند و پیش‌بینی این که رودخانه به کدام جهت انتقال خواهد کرد و هم‌چنین پیش‌بینی شدت انتقال مشکل خواهد بود و شدت انتقال رودخانه بستگی به امتداد جریان و

طور مؤثری امکان پذیر است. صفحات مثلثی که می‌توانند از لاشه سنگ ساخته شوند می‌توانند الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در قوس را طوری تغییر دهند که از تغییرات عرضی قوس جلوگیری شود ضمن این‌که پشت این صفحات شرایط جریان مناسب برای آبریزان نیز می‌باشد (بویان ۲۰۱۰ و بهرامی یاراحمدی و شفاعی بجستان ۲۰۱۶). علیرغم مؤثر بودن روش‌های ذکر شده برای کنترل تغییرات عرضی قوس رودخانه، تمامی روش‌های فوق نیازمند احداث سازه‌ای در بستر رودخانه می‌باشند. تشکیل چاله‌ای در بستر و در محدوده تمام سازه‌های فوق خود عامل اصلی تخریب سازه می‌باشد. از این رو حجم زیادی از مطالعات به اصلاح هندسه سازه و یا مقاوم‌سازی بستر برای کنترل چاله مذکور دارد (مرادپور و همکاران ۱۳۹۱، جونالی و یوتپول کومار ۲۰۱۵). ضمن این‌که اجرای این سازه در روخانه‌های دائمی و عمیق مستلزم هزینه‌های زیادی خواهد بود. در این تحقیق روش صفحات شناور نصب شده در تراز بالاتر از بستر رودخانه، که تاکنون کار نشده‌اند مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف اصلی به کار بردن صفحات شناور در رودخانه‌های آبرفتی با عمق زیاد اولاً حذف آبشستگی موضعی اطراف سازه‌هاست (به‌علت این‌که در تراز بالای بستر رودخانه نصب می‌گردند دارای آبشستگی موضعی اطراف سازه نخواهند بود)، و سپس در رودخانه‌های آبرفتی با عمق زیاد (رودخانه‌ی کارون یک رودخانه دایمی می‌باشد)، اجرای سازه‌هایی که در بستر نصب می‌شوند با مشکلات فراوانی روبرو خواهد بود، لذا اجرای صفحات شناور در رودخانه‌های با جریان دایمی و عمیق نسبت به سایر سازه‌های اصلاح الگوی جریان راحت‌تر خواهد بود.

مواد و روش‌ها

مدل فیزیکی قوس ۱۸۰ درجه‌ای جنگیه واقع در پائین‌دست شهر اهواز در آزمایشگاه مدل‌های رودخانه‌ای دانشگاه شهید چمران اهواز احداث گردید. قوس مذکور در سال‌های متمادی تغییرات عرضی زیادی را تجربه کرده‌است و باعث تخریب ابنیه شهر جنگیه و یا نخلستان‌های مجاور ساحل خارجی گردیده‌است. شکل ۱- الف وضعیت کنونی ساحل را نشان می‌دهد. ساحل

در محل ساحل خارجی، این ساحل بازسازی گردد (بارانی و شاه‌رخ‌ی سرده ۲۰۱۳). در این روش سازه‌هایی به شکل صفحات معمولاً مستطیل با ابعاد، زاویه و فواصل مناسب در بستر رودخانه طوری نصب می‌شوند تا در شرایط دبی طرح کاملاً مستغرق باشند. در اثر عبور جریان از روی این صفحات، گردابه‌های دنباله داری شکل می‌گیرد که باعث تغییرات عرضی تنش برشی بستر می‌گردد و در نتیجه تشکیل حفره در بستر از محل پنجه ساحل خارجی به میانه رودخانه منتقل می‌گردد. علاوه بر این صفحات باعث هدایت رسوب به سمت ساحل خارجی و در نتیجه رسوب‌گذاری در این منطقه می‌شوند (صمیمی بهبهان ۲۰۱۱). یکی دیگر از سازه‌هایی که به‌طور مؤثری توانسته است با اصلاح الگوی جریان از تغییرات عرضی قوس‌های رودخانه جلوگیری کند، سرریزهای مستغرق^۱ می‌باشند. این سرریزها که معمولاً از لاشه سنگ و در ساحل خارجی قوس احداث می‌شوند نیز باعث می‌شود تا جریان عبوری از قسمت بالایی سرریز، به‌صورت عمود بر این سازه به طرف قوس داخلی تغییر جهت دهد. این سازه باعث کاهش سرعت در نزدیک ساحل، کاهش شدت جریان در قوس خارجی، بهبود زیستگاه آبریزان، بهبود شرایط کشتیرانی، رسوب‌گذاری در قوس خارجی (حفاظت قوس خارجی) و کاهش رسوب‌گذاری در قوس داخلی می‌گردد (اباد و همکاران ۲۰۰۸، جراح‌زاده و شفاعی بجستان ۲۰۰۸، رامش و همکاران ۱۳۸۹)، همتی و همکاران (۱۳۹۱) و همتی و همکاران (۱۳۹۲)). سازه‌های دیگری همچون سرریزهای w شکل^۲ آتشی و شفاعی بجستان (۱۳۹۱)، پاگلیارا و همکاران ۲۰۱۴ و بویان و همکاران (۲۰۰۷)، سرریزهای u شکل^۳ (راسگن ۲۰۰۶)، سرریزهای جی هوک (راسگن ۲۰۰۶ و پاگلیارا و همکاران ۲۰۱۳) نیز از جمله روش‌هایی هستند که به‌خصوص برای مدیریت رسوب در قوس رودخانه‌های کوهستانی توصیه شده‌اند. اخیراً نشان داده شده‌است که مدیریت رسوب در قوس‌های رودخانه‌های مئاندری توسط سازه صفحات مستغرق مثلثی نیز به-

^۱submerged weir

^۲W-weir

^۳U-weir

^۴J-Hook

(معادل ۷ متر در مدل فیزیکی) می باشد. برای بررسی فرسایش و رسوب گذاری از مواد اولیه پلی اتلین با قطر متوسط ۲ میلی متر و چگالی ۱/۱ به عنوان رسوبات بستر استفاده شد. شکل ۱-ب نمائی از مدل ساخته شده را نشان می دهد.



ب

رودخانه متشکل از لایه های فوقانی رسوبی رس متراکم شده و مقاوم به فرسایش و نیز لایه های زیرین ماسه ای فرسایشی است که در اثر توسعه چاله فرسایشی بستر در پنجه ساحل موجب ریزش ساحل و جابه جائی آن می گردد. طول بازه مدل شده تقریباً برابر با ۲ کیلومتر



الف

شکل ۱- وضعیت کنونی ساحل (الف) و نمائی از مدل ساخته شده در آزمایشگاه (ب).

شده بود استفاده شد. در ابتدای هر آزمایش رسوبات بستر (مواد پلی اتلین) کاملاً تراز شده و شیر کنترل به آرامی و با دبی کم و در حالتی که دریچه انتهایی کاملاً بسته بود، باز می شد. این کار تا زمانی ادامه پیدا می کرد که عمق در مدل کاملاً بالا آمده (جهت جلوگیری از ایجاد خطای قبل از آزمایش) و در نهایت به آرامی با باز کردن شیر کنترل همزمان دریچه هم باز می شد. بنابراین دبی مورد نظر با عمق ثابت ۱۵/۵ سانتی متر در مدل برقرار می شد. هر آزمایش به مدت ۴ ساعت انجام گرفت. زمان چهار ساعت با انجام یک آزمایش طولانی ۱۲ ساعته به دست آمد که تغییرات عمق چاله فرسایشی پس از آن با گذشت ۴ ساعت کمتر از یک میلی متر بود. معیار دیگر انتخاب زمان ۴ ساعت مقیاس زمان براساس شبیه سازی فرودی (در مجاری باز شبیه سازی فرودی به علت این که نیروی غالب نیروی ثقل می باشد استفاده می گردد) به دست آمده است که فرض بر این شده که در حادثه ترین شرایط در رودخانه کارون دبی با دوره بازگشت دو ساله هفت روز (در رودخانه کارون طبق آمار دبی با دوره بازگشت دو ساله در بیشترین حالت به مدت ۴ روز اتفاق خواهد افتاد) اتفاق افتد و در نهایت با رابطه مربوط به مقیاس زمان، زمان چهار ساعت به دست آمد. همچنین لازم به ذکر است با توجه به این که نتایج با هم مقایسه

دو سری آزمایش علاوه بر آزمایش های مقدماتی انجام شد. آزمایش های مقدماتی برای اصلاح زبری بستر رودخانه برای تأمین تراز مورد نظر در دبی سیل دو ساله انجام شده است. آزمایش های سری اول بدون نصب صفحات و آزمایش های سری دوم با نصب صفحات بوده است. آزمایش ها در سه دبی مختلف برابر ۱۹/۷، ۲۱/۴ و ۲۳/۶ لیتر بر ثانیه و با عمق ثابت ۱۵،۵ سانتی متر (عمق در مسیر مستقیم) معادل اعداد فرود ۰/۱۸، ۰/۲۰ و ۰/۲۲ انجام گرفت. از آنجا که بیش از ۷۰ درصد فرسایش قوس ها در دبی با دوره بازگشت دو ساله اتفاق می افتد (ادگار ۲۰۱۰) لذا شرایط جریان در این دبی مدل گردید. ولی تغییرات بستر برای دو شرایط جریان دیگر (یکی بزرگتر و یکی کوچکتر) نیز بررسی شد لازم به ذکر است با توجه به این که آزمایش ها روی مدل فیزیکی انجام گرفت دامنه انتخاب اعداد فرود محدود بود زیرا در عدد فرود کمتر از ۰/۱۸ (معادل دبی ۱۹/۷ لیتر بر ثانیه) فرسایشی رخ نداد و در عدد فرود ۰/۲۲ (معادل دبی ۲۳/۶ لیتر بر ثانیه) شرایط آستانه حرکت رسوبات یعنی فرسایش در تمام مدل اتفاق می افتاد. دبی جریان توسط دبی سنج الکتریکی که قبل از شیر کنترل هیدرولیکی قرار داشت تنظیم می گردید. برای تنظیم عمق آب از دریچه که در انتهای مدل فیزیکی تعبیه

پروفیل بستر کاملاً متغیر بود. با توجه به این‌که آزمایش‌ها در مدل فیزیکی انجام گرفت و در نهایت براساس مقیاس مدل و پارامتر شیلدن، مواد پلی‌اتلین با قطر متوسط ۲ میلی‌متر و چگالی ۱/۰۵ به‌عنوان رسوبات بستر انتخاب گردید. شکل ۲ نمایی از مدل و متعلقات آن را نشان می‌دهد.

می‌گردند بنابراین انتخاب زمان تأثیری در مقایسه نتایج و اثر صفحات نخواهند داشت. در انتها دریچه انتهایی بسته شده و جریان قطع می‌شود. بعد از زهکشی شدن کامل، مدل توسط لوله زهکش که در زیر مدل تعبیه شده بود، برداشت پروفیل بستر با استفاده از متر لیزی روی اسکلت تراز و مدرج شده برداشت گردید. لازم به ذکر است که شبکه برداشت پروفیل بستر به‌علت تغییرات



شکل ۲- نمایی از مدل فیزیکی قوس جنکيه همراه با متعلقات آن.

انجام نشده‌است و با در نظر گرفتن این‌که صفحات شناور نیز با ایجاد تغییرات مشابهی در الگوی جریان می‌توانند باعث تغییر در الگوی رسوب‌گذاری شوند، در این ابعاد صفحات، فواصل بین صفحات و فاصله از ساحل (بر اساس توصیه ادگارد (۲۰۱۰) برای صفحات مستغرق محاسبه گردید.

صفحات شناور از جنس گالوانیزه به ضخامت دو میلی‌متر به ابعاد 6×3 سانتی‌متر (به ترتیب طول (L) و ارتفاع (H)) توسط میله فلزی که به صفحات جوش شده بودند روی یک اسکلت فلزی که هم قابلیت تغییر زاویه، فاصله از ساحل و عمق مورد نظر برای صفحات شناور را میسر می‌کردند سوار شدند (شکل ۳). از آن‌جا که در خصوص کاربرد صفحات شناور مطالعه‌ای تا کنون



شکل ۳- نمایی از کارگذاری صفحات شناور در قوس قبل از انجام آزمایش.

درجه‌ای قوس و با فاصله طولی برابر با هشت برابر طول صفحات (8L) (توصیه شده توسط ادگارد (۲۰۱۰) برای صفحات مستغرق)، عمق کارگذاری برابر با ارتفاع

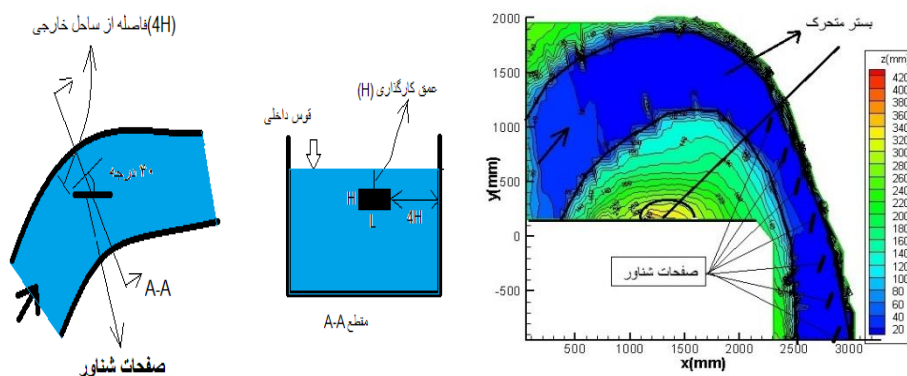
این صفحات در محدوده فرسایشی قوس خارجی که با استفاده از آزمایش‌ها سری اول تعیین گردید کارگذاری شدند. تعداد هفت صفحه شناور در محدوده تقریبی ۱۳۰

آزمایش‌های مقدماتی سری دوم تعیین شده‌اند). شکل ۳ نمای کلی و شکل ۴ نمائی نزدیک از نحوه نصب صفحات را نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز پلان مدل و مشخصات صفحات نصب شده را نشان می‌دهد.

صفحات از سطح آب (H) و فاصله از ساحل خارجی برابر با ۴ برابر ارتفاع صفحات شناور (۴H) و زاویه ۴۰ درجه نسبت به ساحل خارجی کارگذاری شدند (فاصله از ساحل و عمق کارگذاری و زاویه نصب براساس



شکل ۴- نمائی نزدیک از نصب صفحات.

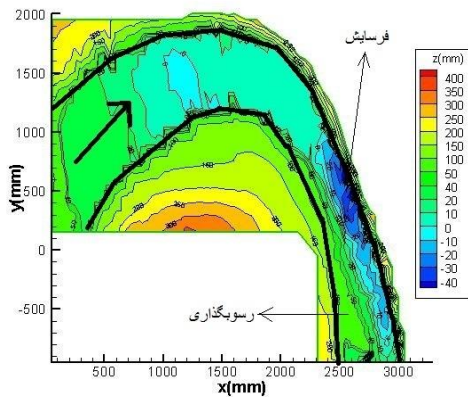


شکل ۵- پلان و مشخصات کارگذاری صفحات شناور در قوس.

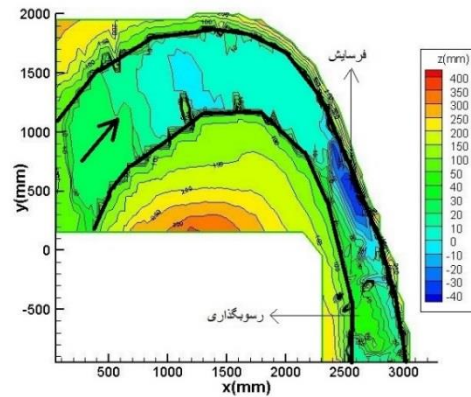
نتایج و بحث

۱۵۰ تا ۱۷۰ درجه قوس قرار دارد. این اندازه‌گیری‌ها با مطالعات منصور و همکاران (۱۳۸۹) که در آن موقعیت بیشینه چاله آبستگي را در قوس‌های ۱۸۰ درجه و با عرض یکسان مطالعه کرده‌اند مطابقت دارد با این تفاوت که موقعیت بیشینه عمق چاله در این مطالعه به موقعیت ۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه تغییر کرده است که این به دلیل همگرا بودن قوس مطالعه حاضر می‌باشد.

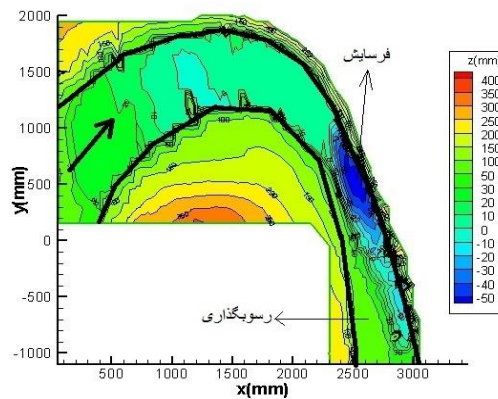
نتایج آزمایش‌های شاهد (بدون نصب صفحات) در دبی سیل دو ساله (عدد فرود ۰/۲) همان‌طور که در شکل ۶-الف مشخص است نشان داد که حفره آبستگي چسبیده به ساحل خارجی از موقعیت ۱۳۰ درجه قوس شروع و تا موقعیت ۰/۵ متر بعد از انتهای قوس ادامه دارد. سپس حفره از ساحل به میانه رودخانه منتقل می‌شود. مقدار بیشینه عمق آبستگي در موقعیت



ب



الف



ج

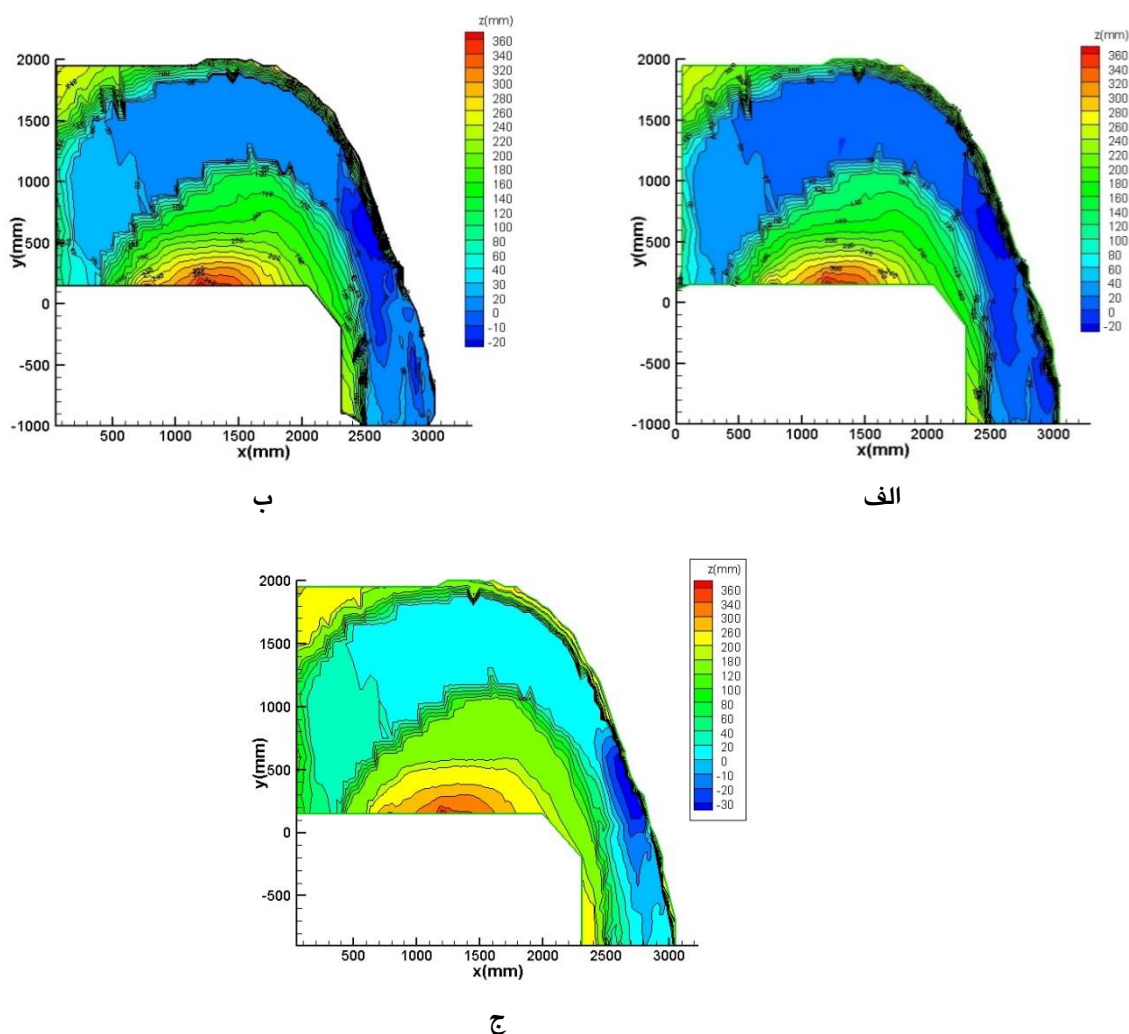
شکل ۶- توپوگرافی بستر در حالت بدون صفحات، (الف) در عدد فرود ۰/۲ (دبی دو ساله)، (ب) در عدد فرود ۰/۱۸، (ج) در عدد ۰/۲۲.

سیلابی توسط سدهای مخزنی بالادست) تخریب ساحل دیده نمی‌شود و عرض رودخانه در اثر رسوب‌گذاری‌های قوس داخلی کاهش و به‌طور متوسط به ۳ متر می‌رسد. نقشه‌های توپوگرافی بستر در آزمایش‌های شاهد (شکل‌های ۶-ب و ۶-ج) برای دو عدد فرود دیگر نیز وضعیت مشابهی را نشان می‌دهد. با این تفاوت که وسعت چاله آبستگي به‌ترتیب در عدد فرود ۰/۱۸ (شکل ۶-ب) و عدد فرود ۰/۲۲ (شکل ۶-ج) نسبت به عدد فرود ۰/۲ (شکل ۶-الف) کاهش و افزایش یافته‌است و بیشینه عمق چاله نیز در موقعیت ۱۶۰ درجه (به میزان ۴ و ۵ سانتی‌متر به‌ترتیب در اعداد فرود ۰/۱۸ و ۰/۲۲) قرار دارد. شرایط فوق نشان می‌دهد که در صورت بروز سیل دوساله چاله آبستگي در رودخانه برابر ۲ متر دور از انتظار نیست و این باعث خواهد شد تا سواحل رودخانه

هم‌چنین شکل ۷-الف نشان می‌دهد که در بستر در قوس قبل از موقعیت ۱۳۰ درجه هیچ‌گونه فرسایشی دیده نمی‌شود. دلیل عمده آن را می‌توان شرایط هندسی قوس ذکر کرد. به‌نحوی که در شکل دیده می‌شود قوس جنگیه به دلیل فرسایش‌ها و رسوب‌گذاری‌هایی که قبلاً داشته‌است رأس قوس به زاویه حدود ۱۱۰ درجه منتقل شده‌است. هم‌چنین رسوب‌گذاری‌های قوس داخلی نیز باعث شده تا قوس از نظر عرضی همگرا شود به‌طوری- که عرض رودخانه از ۱ متر به ۰/۳ متر در موقعیت ۱۳۰ درجه کاهش می‌یابد. از این موقعیت به بعد شرایط ژئوتکنیکی مصالح رسوبی بستر و به‌خصوص ساحل (که بیشتر از جنس رس کاملاً تحکیم یافته است) و نیز به دلیل عدم رخداد سیل دو ساله در ده سال گذشته (به خاطر خشکسالی حاکم بر منطقه و تنظیم دبی‌های

به اطلاعات آزمایش‌های شاهد محدوده‌ای از ساحل خارجی (از موقعیت ۱۳۰ درجه تا ۰/۹ متر بعد از انتهای قوس) که پتانسیل تخریب را دارد شناسائی و تعداد هفت صفحه مطابق آنچه که قبلاً اشاره شد طراحی و در این محدوده نصب گردید. زاویه قرارگیری صفحات بر اساس توصیه ادگارد (۲۰۱۰) در محدوده ۱۰ تا ۴۰ درجه نسبت به خطوط جریان می‌باشد که در این مطالعه زاویه ۴۰ درجه انتخاب گردید.

در این محدوده تخریب و خسارات زیادی به جاده و تاسیسات روستای جنگیه وارد نماید. به‌منظور کنترل عمق چاله آبستگی و جلوگیری از انتقال عرضی قوس روش‌های مختلفی که قبلاً ذکر شد را می‌توان طراحی نمود ولی اجرای روش‌های فوق در این موقعیت (به‌دلیل ارتفاع زیاد ساحل از بستر رودخانه و دائمی بودن جریان رودخانه) بسیار پرهزینه است از این‌رو تصمیم گرفته شد تا کاربرد صفحات شناور را که به راحتی می‌توان از بالای ساحل نصب کرد بررسی نمود. با توجه



شکل ۷- توپوگرافی بستر در حالت نصب صفحات، الف) در عدد فرود ۰/۲ (دبی دو ساله)، ب) در عدد فرود ۰/۱۸، ج) در عدد ۰/۲۲.

شکل ۷-الف نشان داده شده‌است. موقعیت حفره از موقعیت ۱۳۰ درجه شروع و تا موقعیت ۰/۵ متر بعد از

وضعیت توپوگرافی بستر در شرایط نصب صفحات و برای دبی سیل دو ساله (عدد فرود ۰/۲) در

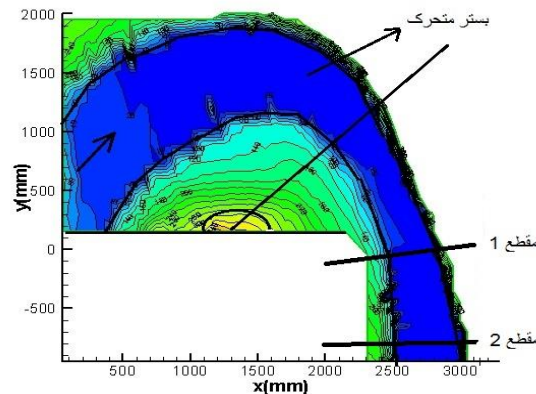
مولفه‌های سه بعدی سرعت برداشت گردد تا به‌طور دقیق در خصوص موقعیت لایه برشی و میزان کاهش سرعت در ناحیه یک بحث کرد که هدف مطالعه حاضر نبوده است. در واقع با توجه به اینکه چاله فرسایشی از ساحل خارجی با کارگذاری صفحات شناور دور شده‌است بنابراین پاشنه در برابر فرسایش ناشی از جریان حلزونی در قوس ایمن شده و بنابراین ریزش دیواره ساحلی در قوس خارجی می‌تواند کنترل شود و از جابجایی قوس جلوگیری کند. با مقایسه توپوگرافی بستر در دو حالت با و بدون صفحات شناور (مقایسه شکل ۶ و ۷) مشاهده می‌گردد که در عدد فرود $0/2$ (دبی دوساله)، مقدار بیشینه عمق چاله فرسایشی با نصب صفحات شناور در نزدیک ساحل خارجی از 40 میلی‌متر به 20 میلی‌متر معادل 50 درصد کاهش یافته و از موقعیت 170 درجه قوس به انتهای داده‌برداری (80 سانتی‌متر بعد از قوس) خط‌القعر به تدریج از ساحل خارجی دور شده به گونه‌ای که در موقعیت 180 درجه قوس کاملاً به ساحل داخلی چسبیده‌است (مقایسه شکل ۶-الف با ۷-الف). همچنین در اعداد فرود $0/18$ و $0/22$ ، حداکثر عمق چاله فرسایشی با نصب صفحات شناور به ترتیب از 40 سانتی‌متر و 50 سانتی‌متر به 20 سانتی‌متر و 30 سانتی‌متر (به ترتیب معادل 50 درصد و 40 درصد) کاهش یافته است. لازم به ذکر است که در عدد فرود $0/18$ خط‌القعر از موقعیت 170 درجه به تدریج از ساحل خارجی دور شده و به گونه‌ای که در موقعیت 180 درجه کاملاً به ساحل داخلی نزدیک شده‌است (شکل ۷-ب) و در عدد فرود $0/22$ ، خط‌القعر از موقعیت 180 درجه به بعد از ساحل خارجی فاصله گرفته و به تدریج به میانه مجرا منتقل شده و در نهایت به ساحل داخلی نزدیک شده-است (شکل ۷-ج).

برای بررسی اثر صفحات شناور بر تغییرات تراز بستر در عرض مجرا (مقطع عمود بر جهت جریان) در دو عدد فرود $0/18$ و $0/2$ ، مقاطع شماره ۱ و ۲ که در شکل ۸ موقعیت آن‌ها مشخص شده‌است در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که انتخاب دو مقطع براساس نتایج ارائه شده در قبل مبنی بر اینکه از موقعیت 180 درجه قوس به انتهای میدان داده‌برداری، خط‌القعر با

انتهای قوس ادامه دارد. موقعیت بیشینه عمق چاله فرسایشی در زاویه 160 تا 170 درجه قوس قرار دارد. میزان حداکثر عمق چاله آبشستگی نیز برابر 2 سانتی‌متر می‌باشد. هر چند حفره آبشستگی به ساحل خارجی چسبیده است ولی عمیق‌ترین محل چاله از ساحل خارجی 5 سانتی‌متر (تقریباً 15 متر در رودخانه) فاصله دارد. تزریق ذرات ریز بسیار سبک در سطح آب در دو حالت بدون و با صفحات شناور نشان داد که در شرایط بدون صفحات ذرات فوق پس از ورود به قوس به تدریج به ساحل خارجی نزدیک می‌شوند و از موقعیت حدود 140 درجه این ذرات چسبیده به ساحل حرکت می‌کنند. دلیل اصلی چنین مشاهده‌ای وجود جریان‌های ثانویه‌ای است که در قوس‌ها مشاهده شده است (سوزه پور و همکاران 1392). مطالعات انجام شده نشان داده که در یک قوس 180 درجه جریان ثانویه از تقریباً ابتدای قوس شروع می‌شود و البته قدرت آن در طول قوس تغییر می‌کند. در اثر جریان ثانویه لایه‌های بالائی سطح آب به سمت قوس خارجی و لایه‌های پائینی به سمت قوس داخلی در حرکت هستند. از این رو است که ذرات شناور ریزدانه به سمت قوس خارجی کشیده می‌شوند. تداخل این جریان با جریان اصلی مسیر حرکت ثانویه را به شکل حلزونی و رو به پائین‌دست در می‌آورد. جهت حرکت در ساحل خارجی به سمت پائین و در ساحل داخلی به سمت بالا است. وجود چاله فرسایشی در محل پاشنه ساحل نیز به همین دلیل می‌باشد. تزریق مواد شناور ریزدانه در آزمایش با صفحات شناور نشان داد که عمده این ذرات قبل از رسیدن به ساحل خارجی منحرف شده و در راستای جریان به سمت پائین‌دست حرکت می‌کنند. صفحات شناور جریان در مقطع را به دو ناحیه تقسیم می‌کند که شامل ناحیه اول که بین ساحل خارجی و صفحات و ناحیه دوم که از صفحات تا ساحل داخلی است. سرعت ذرات شناور در ناحیه اول کمتر از سرعت همین ذرات در ناحیه دوم است. یا به عبارتی صفحات شناور باعث شده‌اند تا لایه برشی در مقطع عرضی و در طول قوس شکل بگیرد و دلیل اصلی نزدیک نشدن عمده ذرات رسوبی به ساحل در آزمایش‌های با صفحات نیز همین می‌تواند باشد. البته لازم است به‌طور جداگانه

در مقابل فرسایش، احتمال می‌رود که در آینده باعث فرسایش رسوبات نهشته شده (که طی سالیان متمادی و در گذشته در ساحل خارجی به وجود آمده‌اند و باعث کم شدن عرض مجرای رودخانه در قوس شده‌اند) شود.

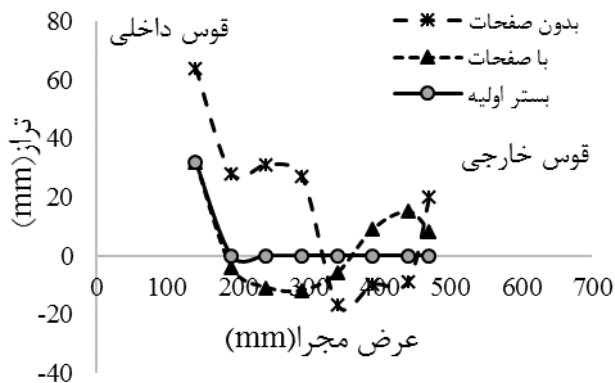
نصب صفحات شناور به تدریج از پاشنه ساحل خارجی دور شده و در انتها کاملاً به ساحل داخلی رسیده‌است. تغییر روند در الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری از موقعیت ۱۸۰ درجه قوس به انتهای میدان داده‌برداری با نصب صفحات شناور علاوه بر حفاظت ساحل خارجی



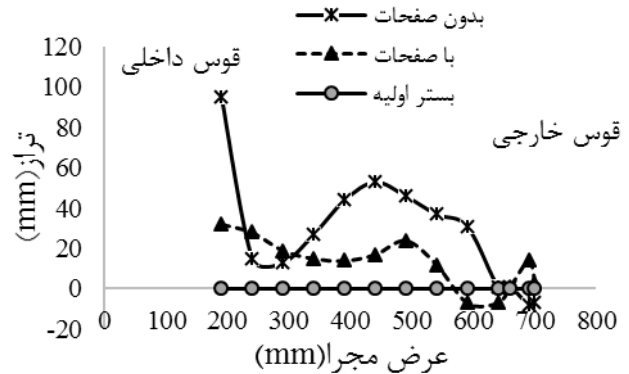
شکل ۸- تعیین موقعیت مقاطع ۱ و ۲ در قوس.

رودخانه) و خط‌القعر با نصب این سازه‌ها به مقدار ۱۵۰ میلی‌متر به سمت قوس داخلی جابجا شده‌است. که این تغییر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری با نصب این سازه در علم مهندسی رودخانه در قوس‌ها جهت حفاظت و ساماندهی ساحل خارجی بسیار با اهمیت است. همچنین در مقطع ۲ (شکل ۹-ب) همانند مقطع ۱ قبل از نصب صفحات شناور نزدیک ساحل خارجی ۸ میلی‌متر فرسایش و نزدیک ساحل داخلی به‌طور متوسط ۴۰ میلی‌متر رسوب‌گذاری داریم که با نصب این سازه‌ها خط‌القعر به مقدار تقریبی ۱۰۰ میلی‌متر از ساحل خارجی دور شده و همچنین از میزان رسوب‌گذاری بطور متوسط ۲۰ میلی‌متر در قوس داخلی کاسته شده‌است.

شکل ۹ تغییرات تراز بستر را با و بدون صفحات شناور در دو مقطع ۱ و ۲ (که موقعیت آنها در شکل ۸ مشخص شده‌است) در عدد فرود ۰/۱۸ نشان می‌دهند. در همه شکل‌ها نقاط بالای خط بستر اولیه نقاط رسوب‌گذاری و نقاط زیر این خط فرسایش را نشان می‌دهند. در مقطع ۱ (شکل ۹-الف) قبل از نصب صفحات شناور خط-القعر کاملاً در پاشنه ساحل خارجی بود و در ساحل داخلی قوس، تپه رسوبی به ارتفاع تقریبی ۴۰ میلی‌متر تشکیل شده‌است که این میزان رسوب‌گذاری در قوس داخلی با نصب صفحات شناور به ۱۰ میلی‌متر فرسایش در همین موقعیت تبدیل شده و همچنین در ساحل خارجی نه تنها فرسایش اتفاق نیفتاده بلکه رسوب‌گذاری به ارتفاع ۱۵ میلی‌متر دیده می‌شود (معادل ۰/۷۵ متر در



الف

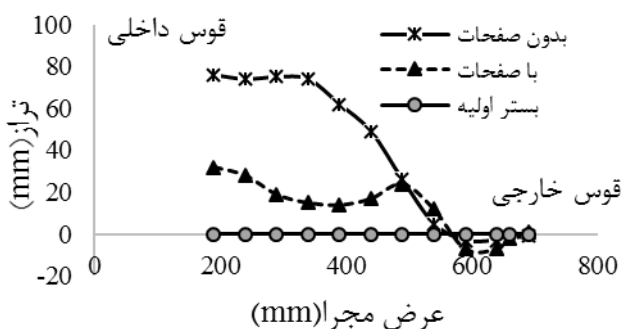


ب

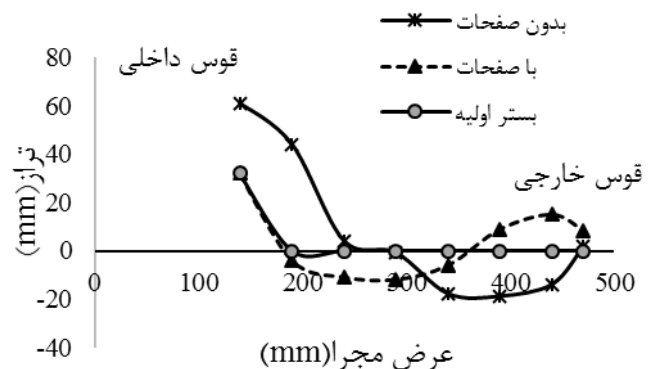
شکل ۹- تغییرات تراز بستر در مقطع ۱ (الف) و مقطع ۲ (ب) در عدد فرود ۰/۱۸.

گردد، شکل ۱۰-ب تغییرات بستر در مقطع ۲ با و بدون صفحات شناور در عدد فرود ۰/۲ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل در این مقطع کارگذاری صفحات اثر کمی بر رسوب‌گذاری در پاشنه ساحل خارجی داشته‌است به گونه‌ای که قبل از کارگذاری صفحات فرسایش پاشنه حدود ۱ میلی‌متر بوده که با وجود صفحات این مقدار فرسایش به ۱ میلی‌متر رسوب‌گذاری تبدیل شده‌است. ولی در این حالت کارگذاری صفحات اثر چشم‌گیری بر کاهش میزان رسوب‌گذاری در ساحل داخلی داشته‌است به نحوی که قبل از نصب صفحات تپه رسوبی به ارتفاع متوسط ۸۰ میلی‌متر در نزدیک ساحل داخلی تشکیل شده که با نصب صفحات این مقدار به‌طور متوسط به ۲۰ میلی‌متر رسیده‌است.

شکل ۱۰-الف تغییرات بستر در مقطع ۱ را با و بدون صفحات شناور در عدد فرود ۰/۲ در قوس مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این حالت قبل از کارگذاری سازه‌ها در پاشنه ساحل خارجی ۱۴ میلی‌متر فرسایش و در قوس داخلی به‌طور متوسط ۴۰ میلی‌متر رسوب‌گذاری اتفاق افتاده‌است که بعد از نصب صفحات شناور خط‌العمل به میزان ۱۵۰ میلی‌متر از پاشنه ساحل خارجی دور شده و هم‌زمان در پاشنه ساحل خارجی رسوب‌گذاری به ارتفاع ۱۵ میلی‌متر و در نزدیک ساحل خارجی فرسایش به عمق ۱۰ میلی‌متر اتفاق افتاده‌است. بنابراین در این حالت به وضوح مشخص است که کارگذاری این سازه‌ها باعث ساحل‌سازی در قوس خارجی شده و در نهایت باعث فرسایش رسوبات نهشته شده در قوس داخلی می‌-



ب



الف

شکل ۱۰- تغییرات تراز بستر در مقطع ۱ (الف) و مقطع ۲ (ب) در عدد فرود ۰/۲ (دبی دوساله).

نتیجه‌گیری کلی

۱۸۰ درجه بوده و مقدار آن برابر با ۳ سانتی‌متر می‌باشد.

در سه عدد فرود با نصب صفحات شناور از موقعیت ۱۸۰ درجه قوس تا ۰/۸ متر بعد از قوس (انتهای میدان داده‌برداری) خط‌القعر کاملاً از ساحل خارجی دور شده و به تدریج به میانه مجرا و سپس ساحل داخلی قوس رسیده‌است این صفحات علاوه بر تثبیت ساحل خارجی در مقابل فرسایش احتمال می‌رود در آینده باعث فرسایش رسوبات ساحل داخلی (که در گذشته و طی سالیان رسوب‌گذاری و باعث کاهش عرض رودخانه شده‌اند) گردند.

سپاسگزاری

این مطالعه با حمایت مالی از محل پژوهانه‌ی نویسنده دوم انجام شده است که بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌گردد.

براساس آزمایش‌های انجام شده در سه عدد فرود ۰/۱۸، ۰/۲۲ (معادل دبی دو ساله در رودخانه در محل قوس جنگیه) و ۰/۲۲ بدون نصب صفحات شناور بیشینه عمق آبشستگی در نزدیک ساحل خارجی و از موقعیت ۱۵۰ درجه تا موقعیت ۱۸۰ درجه و به ترتیب برابر با ۴ سانتی‌متر (معادل ۲ متر در رودخانه)، ۴ سانتی‌متر و ۵ سانتی‌متر می‌باشد.

سازه صفحات شناور باعث تغییر اساسی در الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در قوس رودخانه‌ها می‌شوند. با نصب صفحات شناور در دو عدد فرود ۰/۱۸ و ۰/۲۲ بیشینه عمق چاله آبشستگی در موقعیت ۱۶۰ تا ۱۷۰ درجه قوس بوده و مقدار آن در هر دو عدد فرود برابر با ۲ سانتی‌متر (معادل ۱ متر در رودخانه) می‌باشد و در عدد فرود ۰/۲۲ موقعیت چاله آبشستگی از ۱۶۰ تا

منابع مورد استفاده

- Atashi V, Shafaai Bejestan M and Ahadyan J, 1391. Evaluation of flow pattern and shear stress in a 90 degree bend using w-weir. *Journal of Water Resources Engineering*. 5(2):15-28.
- Ramesh S, Jarahzade F, Mashkorinyia, V and Shafaai Bejestan M, 1389. The profile of longitudinal erosion and sedimentation is affected by bendway in a 90 degree bend. pp. 102-118. The 9th Iranian hydraulic conference. 18-20 aban, Tehran, Iran.
- Sozepoor A, Shafaai Bejestan M and Ghadoo Y, 1392. Experimental investigation of flow pattern at a 90 degree sharp rectangular bend. *Water and Soil Science-University of Tabriz*. 23(6): 257-268.
- Moradpoor M, Farsadizade D, Hosainzade Dalier A and Aronghi, H, 1391. Experimental investigation of the effect of crochet size on the scouring process of semicircular super dike. pp. 410-419. The 11th Iranian hydraulic conference. 16-19 aban, urmi, Iran.
- Mansoori A.R, Nishabouri A.A, and Honarbakhsh A, 1389. Three-dimensional study of bed level changes in 180 degree bend. *Journal of Modares Civil*. 10(1): 1-19.
- Hemati M, Ghomshi M and Kashefipour S.D, 1391. Experimental investigation of the effect of angular submerged vanes on the Sedimentation and Erosion Pattern in meander. *Iranian Water Resources Researches Journal*. 8(3): 66-76.
- Hemati M, Kashefipour S.D and Ghomshi M, 1392. Experimental investigation on the effect of submerged vanes length on the sedimentation pattern and water level in meander. *Journal of Civil and Environmental Engineering*. 43(1): 66-76.
- Abad JD, Rhoads BL, Guneralp I and Gorkia MH, 2008. Flow structure at difference stages in a meander-bend with Bendway weirs. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 134(8): 1052-1063.
- Barani GHA and Shahrokhi Sarde M, 2013. Experimental investigation of submerged vanes shape effect on river-bank stability. *Scientific Professional Quarterly* 1(1): 35-41.
- Bahrami Yarahamdi M, Shafai Bejestan M, 2016. Sediment Management and flow patterns at river bend due to triangular vanes attached to the bank. *Journal of Hydro-environmental Research* 10(1):64-75.
- Bhuiyan F, Hey RD and Wormleaton PR, 2010. Bank-Attached Vanes for Bank Erosion Control and Restoration of River Meanders. *Journal of Hydraulic Engineering* 136(9): 583-596.
- Bhuiyan F, Hey RD and Wormleaton PR, 2007. River restoration using W-weir. *Journal of Hydraulic Engineering* 133(6): 596-609.

- Fischenich JC and Allen HA, 2000. Stream management. ERDC/EL SR-W-00-1, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Jarrahzade F and Shafai Bejestan M, 2011. Comparison of maximum scour depth in Bank line and nose of submerged weirs in a sharp bend. *Scientific Research and Essays* 6(5): 1071-1076.
- Junali T and Utpal Kumar M, 2015. Experimental investigation of local scour around submerged vanes. *International Journal Innovative Research in Advanced Engineering* 2(7): without page.
- Odgard Aj, 2010. River Training and Sediment Management with Submerged Vanes, Published by American Society of Civil Engineers.
- Pagliara S, Kurdistani SM and Santucci I, 2013. Scour downstream of J-hook vane structures in straight horizontal channels, *Acta Geophysical* 61(5): 1211–1228.
- Pagliara S, Kurdistani SM and Cammarata L, 2014. Scour of clear water rock W-Weirs in straight rivers. *Journal of Hydraulic Engineering* 140(4): without page.
- Rosgen DL, 2006. The Cross-Vane, W-Weir and J-Hook Vane Structures Description, Design and Application for Stream Stabilization and River Restoration. Wild land Hydrology, Inc. 11210 N. County Road 19 Ft. Collins, Colorado 80524970-568-0002.
- Samimi Behbahan T, 2011. Laboratory investigation of submerged vane shapes effect on river banks protection. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12):1402-1407.
- Sclafani P, 2010. Methodology for predicting maximum velocity and shear stress in a sinuous channel with bendway weirs using 1-D HEC-RAS modeling results. M.S. Thesis, Colorado State University, Department of Civil Engineering, Fort Collins, CO.