علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۰، شماره‌ی۳، پاییز ۹۶، ص. ۳۳-۲۱

بررسی آزمایشگاهی تأثیر فاصله صفحات غوطه ور از ساحل بر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری بستر

حسین سلج محمودی[۱] و محمود شفاعی بجستان[۲*]

۱- دانش‌آموخته دکتری رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران.
۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز shafai@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۲۸

چکیده

به علت وقوع جریان‌های ثانویه و حلزونی شکل در محدوده قوس‌های رودخانه، آبشستگی در محل پنجه ساحل و رسوب‌گذاری در محل قوس داخلی باعث تغییرات شدید مرفولوژی رودخانه می‌گردد. برای مدیریت رسوب در قوس‌ها تاکنون روش‌های مختلفی معرفی شده‌اند که سازه‌های مربوطه عموماً در بستر رودخانه نصب می‌شوند که خود باعث تشکیل حفره جدیدی در اطراف سازه می‌شوند. در مطالعه حاضر روش جدیدی به صورت آزمایشگاهی بررسی شده‌است که در تراز بالاتر از بستر نصب می‌شود. مدل فیزیکی از قوس جنگیه واقع در جنوب اهواز ساخته شد و تعداد هفت صفحه غوطه ور در بازه‌ای از قوس که بیشترین عمق آبشستگی در آن مشاهده شده‌است نصب گردید. صفحات در فواصل مختلف صفر، ۳، ٦، ۹، ۱۲ و ۱۵ سانتی‌متراز ساحل خارجی نصب شدند. هر حالت نصب صفحات در شرایط عدد فرود ۰/۲ (معادل عدد فرودی است که در قوس جنگیه در دبی سیل با دوره بازگشت دو ساله به‌وقوع می‌پیوند) آزمایش گردید. توپوگرافی بستر برای هر گزینه رسم و با آزمایش شاهد(بدون نصب صفحات) مقایسه گردید. نتایج نشان نشان دادند که چاله آبشستگی از ساحل خارجی دور شده‌است. صفحات نصب شده در فاصله دو برابر طول صفحه بهترین نتیجه را دادند و باعث شدند که حداکثر عمق آبشستگی تا ۷۰ درصد کاهش یابد.

کلید واژه‌ها : رودخانه، قوس، فرسایش ساحل، صفحات غوطه‌ور.

مقدمه

بارزترین نوع فرسایش در رودخانه‌های پیچانرودی، فرسایش سواحل خارجی است که خسارت‌های ناشی از آن با توجه به گستردگی قوس‌های رودخانه‌ها و وجود زیرساخت‌های متعدد در مجاورت آنها، بسیار زیاد می‌باشد. وجود جریان‌های ثانویه و حلزونی در قوس‌ها، باعث جریانی می‌شود که نسبت به آبراه‌های مستقیم دارای مکانیزم پیچیده‌تری است به‌طوری‌که با ورود جریان به قوس، باعث ایجاد فرسایش در ساحل خارجی قوس می‌گردند. برای مقابله با فرسایش در قوس خارجی و گودافتادگی بستر تاکنون روش‌های مختلفی به‌کار رفته‌است. یکی از روش‌های کنترل فرسایش در قوس رودخانه‌ها استفاده از سازه‌های اصلاح الگوی جریان است که هدف از کاربرد آنها دور کردن چاله آبشستگی از محل پاشنه ساحل است. آبشکن‌ها(منحرف کننده جریان)، سرریزهای مستغرق (ایجاد مقاومت) و صفحات مستغرق (با تشکیل گردابه‌های دنباله‌دار)، سرریزهای دبلیو شکل[۱] (ایجاد مقاومت)و... از جمله سازه‌های اصلاح الگوی جریان هستند. در همه این سازه‌ها چاله آبشستگی با عمق بیشتری نسبت به ساحل بیرونی، در محل پنجه سازه که در معرض مستقیم جریان قرار دارد، شکل می‌گیرد و هرچند به دلیل فاصله‌ی سازه از ساحل باعث تخریب ساحل نمی‌شود ولی باعث ناپایداری سازه و تخریب آن می‌شود. در آبشکن‌ها که معمولاً به شکل مستطیل و با زاویه۹۰ درجه نسبت به ساحل قرار می‌گیرند. پدیده ی آبشستگی دماغه در آن‌ها و گسترش آن به حدی است که باعث تخریب خود سازه نیز می‌شود به همین علت بیشتر پژوهش‌های صورت گرفته روی آبشکن‌ها در رابطه با الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری، مخصوصاً بیشینه عمق آبشستگی در اطراف آبشکن است. در این رابطه می‌توان به منابع با ارزشی چون عباس پور و همکاران (۱۳۸۹)، موسوی و همکاران (۱۳۸۹)، دوان[۲] (۲۰۰۹)، شارما و ماهاپاترا[۳] (۲۰۱۲)، یان و همکاران[٤](۲۰۱۲) و ... اشاره کرد. نتایج پژوهش‌های آنها نشان می‌دهد که به علت الگوی جریان سه بعدی که در اطرف سازه تک آبشکن شکل می-گیرد توسعه‌ی چاله آبشستگی تا ساحل بیرونی نیز می‌رسد. سرریزهای مستغرق سازه‌هایی شبیه به آبشکن ولی به صورت مستغرق هستند و با زاویه ۳۰ تا ۶۰ درجه به سمت بالادست احداث

1 - W-Weir

2 - Duan
3 -Sharam and Mohapatra
4 -Yun and *et al*.

می‌شوند. در مطالعات میدانی و آزمایشگاهی مختلفی توسعه‌ی چاله آبشستگی در محل پنجه‌ی این سازه (هر چند با ابعاد کمتر از چاله آبشکن) نیز گزارش شده است. در این خصوص می‌توان به پژوهش‌های جراح زاده و شفاعی بجستان (۱۳۹۱)، مشکورنیا و شفاعی بجستان (۱۳۹۲)، شفاعی بجستان و همکاران (۲۰۱۰)، ابد و همکاران [1](۲۰۰۸) و [2]جیا و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد. رامش و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی تأثیر سه زاویه(۰، ۱۵ و ۳۰) درجه سرریز مستغرق بر حداکثر عمق آبشستگی در یک مدل آزمایشگاهی با قوس۹۰ درجه تند در شرایط هیدرولیکی مختلف با دبی‌های ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ لیتر در ثانیه پرداختند. فاصله، ارتفاع و طول سرریزها در آزمایش‌های آنها ثابت و به‌ترتیب چهار برابر طول سرریز(4L)، ۳۳ درصد عمق آب(0.33D) و ۲۰ درصد عرض فلوم(0.2W) بودند. نتایج آزمایش‌های ایشان نشان دادند که زاویه ۳۰ درجه و ۱۵ درجه به‌ترتیب کمترین و بیشترین آبشستگی را ایجاد می‌کنند. همتی و همکاران (۱۳۹۱) در یک مدل فیزیکی به بررسی آزمایشگاهی تأثیر زاویه سرریزهای مستغرق بر الگوی فرسایش و رسوب در سه زاویه ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه پرداختند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که رسوب‌گذاری در بین سرریزها و در نتیجه آن حفاظت قوس خارجی در زاویه‌ی ۷۵ درجه و ۶۰ درجه بهتر از زاویه ۹۰ درجه اتفاق می‌افتد. جراح زاده و شفاعی بجستان (۲۰۱۱) در مطالعه‌ی سرریزهای مستغرق به مقایسه ماکزیمم عمق آبشستگی در خط ساحل و دماغه در قوس ۹۰ درجه تند پرداختند. مدل مورد استفاده در آزمایشهای ایشان دارای عرض ۰,۴ متر و شعاع ۰,۸ متر بود. عمق آب در آزمایشهای آنها ثابت و ارتفاع سرریزها ۳۳ درصد آن انتخاب گردید. زاویه قرارگیری سازه‌ها نسبت به خط عمود بر قوس ۳۰ درجه، فاصله سازه‌ها سه، چهار و پنج برابر طول سازه و طول سازه‌ها ۲۰ درصد عرض کانال بود. نتایج مطالعات آنان نشان داد که عملکرد سازه‌ها در نسبت فاصله سازه به طول آن برابر با سه از بقیه موارد بهتر بوده و اشاره کردند که برای قوس‌های تند در مقایسه با قوس‌های معمولی و نرمال، فاصله سازه‌ها باید کمتر انتخاب شوند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه روی تأثیر شکل صفحات مستغرق به این نتیجه رسیدند که صفحه مثلثی شکل دارای کمترین عمق آبشستگی است در حالی که میزان قدرت گرداب دنباله‌دار و یا به عبارتی عملکرد آن تغییر ناچیزی نسبت به صفحه معمولی مستطیلی داشته است. بویان و همکاران [3](۲۰۱۰) نیز با به کاربردن تک صفحه ی مثلثی متصل به ساحل با زوایای ۲۰ و ۳۰ درجه (نسبت به ساحل بالادست) در فلوم سینوسی نتیجه گرفتند که صفحات، عمق آبشستگی کمتری نسبت به آبشکن ها، ایجاد می‌کنند. همان‌طور که اشاره شد سازه‌های اصلاح الگوی جریان علی‌رغم کارایی خوبشان، به منظور کنترل آبشستگی اطرف سازه نیازمند روش‌های مقاوم‌سازی و اصلاح هندسه سازه می‌باشند. هر چند که با این اقدامات اساسی باز هم آبشستگی موضعی وجود داشته و با صرف هزینه‌های زیاد فقط از مقدار آن کاسته می‌شود و ممکن است در اثر سیل‌های جاری شده در رودخانه تخریب گردند. با توجه به مشکلات مشاهده شده در کاربرد سازه های فوق الذکر به‌ویژه بروز آبشستگی موضعی اطراف سازه و یا نوک دماغه آنها (به‌علت اینکه اینگونه سازه ها در بستر آبراهه نصب می‌شوند) و همچنین مشکلات اجرای این سازه در روخانه‌های عمیق مانند رودخانه کارون مقرر گردید به‌عنوان یک تجربه کاملاً جدید برای حفاظت سواحل روخانه در قوس‌ها به روش اصلاح الگوی جریان و به‌منظور کنترل روند گودافتادگی بستر، اثر صفحات غوطه‌ور را که تاکنون کار نشده بررسی شود و فاصله مناسب نصب این صفحات از ساحل خارجی تعیین گردد. لازم به ذکر است که با توجه به عدم قرارگیری این صفحات در بستر، اجرای آنها در رودخانه‌های با جریان دایمی و عمیق مانند رودخانه کارون بسیار کم هزینه‌تر و راحت‌تر خواهد بود، البته در روش جدید صفحات غوطه ور که در فاصله از (ساحل و بستر) نصب می‌شوند علاوه بر تعیین موقعیت کارگذاری این سازه‌ها در قوس رودخانه‌ها ،سایر مشخصات(زاویه نصب، عمق کارگذاری و ...) نیز از اهمیت برخوردار است که مقرر گردید در این تحقیق اثر فاصله کارگذاری این سازه‌ها از ساحل خارجی رودخانه مورد بررسی قرار گرفته و فاصله مناسب این صفحات از ساحل خارجی تعیین گردد.

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 پایین‌دست اهواز با مقیاس افقی ۳۰۰ و مقیاس عمودی ۵۰ که یک قوس ۱۸۰ درجه همگرا بوده و دیواره‌های آن به‌صورت بتنی و کف آن به‌صورت فرسایشی ساخته‌شده، استفاده شده است. طول بازه‌ی مدل شده تقریبا برابر با ۲ کیلومتر (معادل ۷ متر در مدل فیزیکی) می‌باشد. برای بررسی فرسایش و رسوب‌گذاری از مواد اولیه پلی‌اتیلن با قطر متوسط ۲ میلی‌متر و چگالی ۱/۱ به‌عنوان رسوب استفاده شد. آزمایش‌ها در دبی ۲۱/۴ لیتر بر ثانیه و با عمق ۱۵/۵ سانتی متر(عمق در مسیر مستقیم و قبل از دریچه) معادل عدد فرود ۰/۲(معادل دبی سیل با دوره برگشت دو ساله در رودخانه کارون) انجام گرفت. دبی جریان توسط دبی سنج الکترومغناطیس مدل M3000 که قبل از شیر کنترل تنظیم می‌گردید. برای تنظیم عمق آب از دریچه که در انتهای مدل فیزیکی تعبیه شده بود استفاده شد. در ابتدای هر آزمایش رسوبات بستر(مواد پلی اتلین) کاملاً تراز شده و

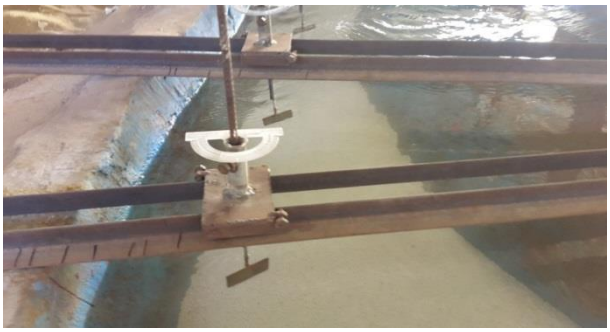
1 -Abad and *et al.*
2 Jia and *et al.*
3 -Bhuiyan and *et al.*

صفحات غوطه‌ور به ابعاد ۳*۶ سانتی‌متر(به‌ترتیب ارتفاع و طول صفحات غوطه‌ور) با شش فاصله متغیر از ساحل خارجی و زاویه ثابت ۴۰ درجه نسبت به ساحل خارجی(این زاویه براساس آزمایش‌های اولیه تعیین شد) و عمق کارگذاری ثابت و معادل ارتفاع صفحات(فاصله لبه بالایی صفحات از سطح آب برابر با ارتفاع صفحات(H)) کارگذاری شدند پس از کارگذاری صفحات و تنظیم موقعیت کارگذاری آنها براساس ابعاد ذکر شده، شیر کنترل به آرامی و با دبی کم و در حالتی که دریچه انتهایی کاملاً بسته بود، باز می‌شد. این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کرد که عمق در مدل کاملاً بالا آمده(برای جلوگیری از ایجاد خطای قبل از آزمایش) و در نهایت به آرامی با باز کردن شیر کنترل همزمان دریچه هم باز می‌شد. بنابراین دبی مورد نظر با عمق ثابت ۱۵/۵ سانتی‌متر در مدل برقرار می‌شد. هر آزمایش به مدت چهار ساعت انجام گرفت. در انتها بعد از چهار ساعت دریچه انتهای بسته شده و جریان قطع می‌شد. بعد از زهکشی شدن کامل مدل توسط لوله زهکش که در زیر مدل تعبیه شده بود، صفحات غوطه ور از روی مدل برداشته شده و برداشت پروفیل بستر با استفاده از متر لیزی لایکا مدل X310 با دقت یک میلی‌متر روی اسکلت تراز و مدرج شده انجام می‌شد. لازم به‌ذکر است که شبکه برداشت پروفیل بستر به‌علت تغییرات پروفیل بستر کاملاً متغیر بود. شکل(۱-الف) نمایی از مدل و متعلقات آن را نشان می‌دهد.

صفحات غوطه‌ور از جنس گالوانیزه به ضخامت دو میلی‌متر به ابعاد ۳*۶ سانتی‌متر (به ترتیب ارتفاع(H) و طول(L)) توسط میله‌ی فلزی که به صفحات جوش شده بودند روی یک اسکلت فلزی که قابلیت تغییر زاویه، فاصله از ساحل و عمق مورد نظر برای صفحات غوطه ور را میسر می‌کردند سوار شدند. شکل(۱-ب) نمایی کلی و شکل (۱-ج) نمایی نزدیک از نصب صفحات غوطه ور را نشان می‌دهد.



الف **ب**



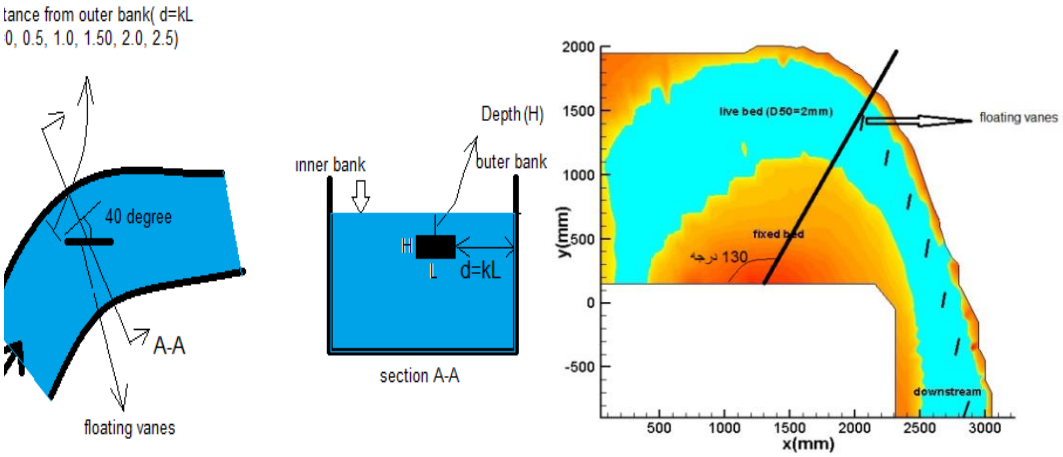
ج

شکل۱- (الف) نمایی کلی از آزمایشگاه و متعلقات ، (ب) نمایی کلی از کارگذاری صفحات غوطه‌ور،(ج) نمایی نزدیک از صفحات

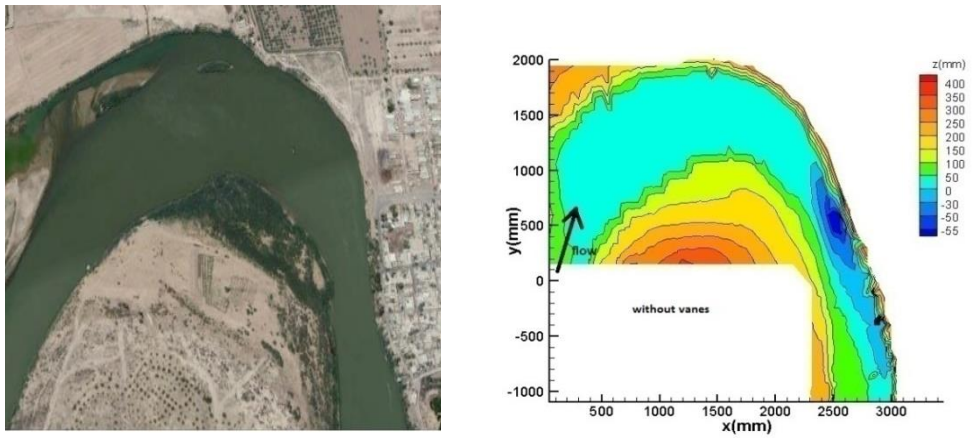
این صفحات در محدوده فرسایشی قوس خارجی که با استفاده از آزمایش‌های شاهد تعیین گردید کارگذاری شدند. تعداد هفت صفحه غوطه ور در محدوده تقریبی ۱۳۰ درجه قوس به انتهای میدان داده‌برداری(این محدوده براساس آزمایش شاهد تعیین گردید که با نتایج منصوری و همکاران (۱۳۸۹) در مورد محل فرسایش نیز مطابقت دارد) با فاصله طولی برابر با هشت برابر طول صفحات(8L)، عمق کارگذاری برابر با ارتفاع صفحات از سطح آب(H) و فاصله از ساحل خارجی برابر با ضریبی از طول صفحات(از صفر تا دو و نیم برابر طول) و زاویه ۴۰ درجه نسبت به ساحل خارجی کارگذاری شدند. شکل(۲)پلان کلی با جزئیات کارگذاری صفحات را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

به منظور تعیین تأثیر فاصله صفحات غوطه‌ور از قوس خارجی ، تغییرات توپوگرافی در مدل فیزیکی قوس جنگیه در دو حالت، ابتدا بدون نصب صفحات(به‌عنوان آزمایش شاهد) و سپس در شش حالت مختلف نصب صفحات در فواصل مختلف از ساحل خارجی در عدد فرود ۰/۲، جمعاً هفت سری آزمایش انجام شد، شکل (۳-الف) تغییرات توپوگرافی بستر در قوس جنگیه را در حالت بدون نصب صفحات در عدد فرود ۰/۲ نشان می‌دهد. با توجه به شکل قوس خارجی در بازه‌ی ۱۳۰ درجه قوس تا ۰/۸ متر بعد از انتهای قوس در مدل فیزیکی در معرض فرسایش قرار دارد و حداکثر عمق آبشستگی برابر با ۵۷ میلی‌متر در موقعیت تقریبی ۱۷۰درجه می‌باشد به دنبال آبشستگی بستر در ساحل خارجی همزمان در قوس داخلی رسوب‌گذاری اتفاق افتاده‌است. این فرسایش و رسوب‌گذاری در طول زمان در صورتی که کنترل نشود باعث جابجایی قوس شده و نهایتاً باعث تخریب منطقه مسکونی و زمین‌های کشاورزی در ساحل خارجی خواهد شد. لازم به ذکر است که در محل حداکثر فرسایش در قوس خارجی دقیقاً در لبه رودخانه منطقه مسکونی(روستای جنگیه) می‌باشد(شکل ۳-ب).

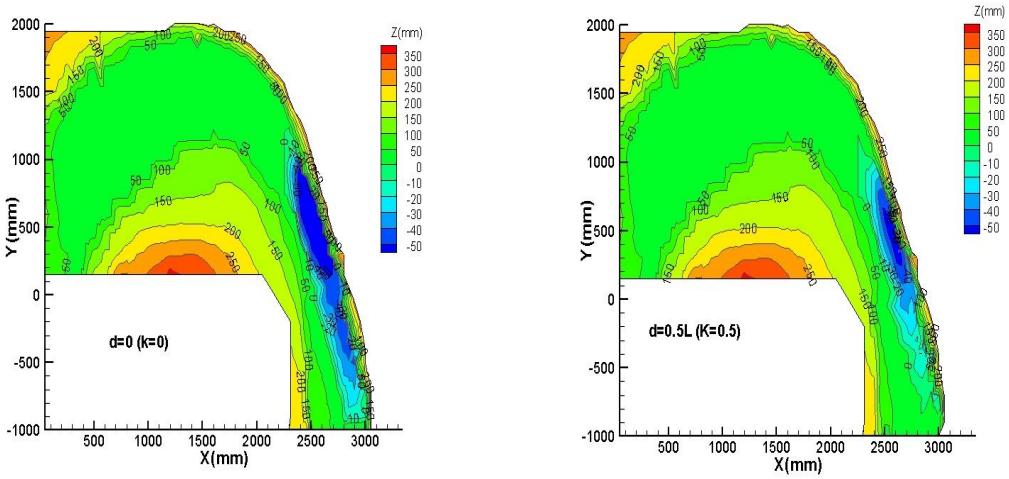


شکل۲- پلان کارگذاری صفحات غوطه ور در قوس



الف- خطوط همتراز **ب- عکس هوایی**

شکل۳- توپوگرافی بستر در حالت بدون نصب صفحات



الف- در فاصله نیم برابر طول صفحات **ب- در حالت صفحات چسپیده به ساحل**

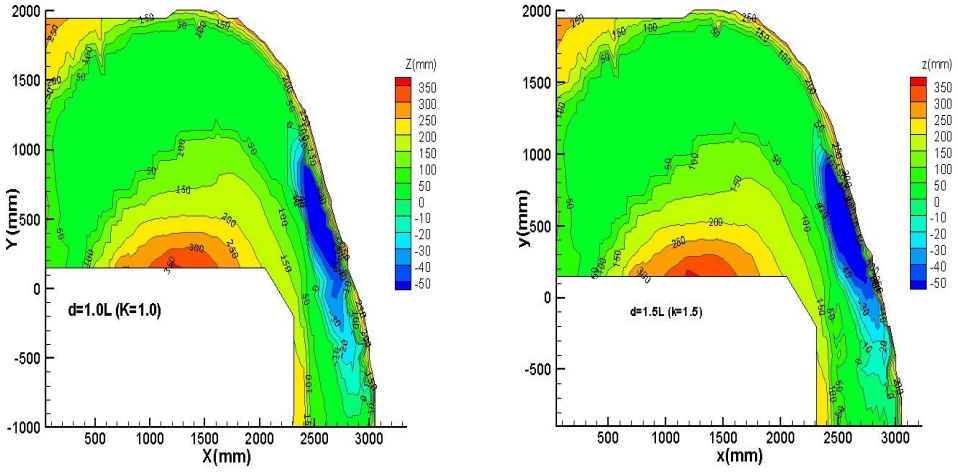
شکل ٤- توپوگرافی بستر پس از نصب صفحات مستغرق در فواصل مختلف

شکل‌های (۴) تا (۶) تغییرات توپوگرافی بستر در مدل فیزیکی قوس جنگیه را در شش فاصله مختلف نصب صفحات از ساحل خارجی در محدوده فرسایش را نشان می‌دهد. در شکل (۴-ب) در حالت صفحات چسپیده به ساحل خارجی حداکثر عمق آبشستگی ۵۰ میلی‌متر بوده و نسبت به حالت بدون صفحات، منطقه حداکثر آبشستگی توسعه داشته ولی مقدار حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون صفحات ۵ میلی‌متر کاهش یافته است(مقایسه شکل (۳-الف) با شکل (۴-ب)). در موقعیتی که صفحات غوطه‌ور کاملاً چسپیده به ساحل باشند با توجه به اینکه این صفحات در بستر قرار ندارند(مثل سرریزهای مستغرق با این تفاوت که به بستر وصل نیستند)، تأثیری در دور کردن خطالقعر بستر از پاشنه ساحلی ندارند بنابراین تأثیری در کنترل فرسایش ساحل خارجی و کاهش آبشستگی نخواهند داشت. زیرا در این حالت گردابه‌های دنباله‌داری که احتمالاً با کارگذاری این صفحات و در بین این سازه‌ها به وجود خواهند آمد تأثیری در کاهش قدرت جریان‌های حلزونی نخواهند داشت. ضمن اینکه در این حالت خطوط جریان‌های حلزونی همانند حالت بدون

سازه مستقیماً به بستر آبراهه برخورد کرده و باعث فرسایش خواهد شد.

لازم به ذکر است که در تمام تحقیق L طول صفحات و d فاصله از ساحل خارجی می‌باشد. در حالت d=0.5L(شکل ۴-الف) حداکثر عمق آبشستگی از نظر مقدار نسبت به حالت d=0(شکل ۴-ب) ثابت مانده‌است ولی با مقایسه توپوگرافی بستر در دو حالت(مقایسه شکل ۴-الف با شکل ۴-ب) مشاهده می‌شود که محدوده مقدار حداکثر عمق آبشستگی در حالت d=0.5L(شکل ۴-الف) نسبت به حالت d=0(شکل ۴-ب) از نظر وسعت کاهش داشته همچنین خط‌القعر به‌طور متوسط ۲ سانتی‌متر از ساحل خارجی دور شده‌است. با افزایش فاصله صفحات غوطه ور از ساحل خارجی از صفر به 0.5L، با ایجاد لایه برشی توسط صفحات غوطه‌ور(به‌علت شکل‌گیری گردابه‌های دنباله‌دار)، جریان در مقطع عرضی به دو ناحیه که یکی از دیوار ساحل خارجی تا صفحات و دیگری از صفحات تا ساحل داخلی می‌باشد تقسیم می‌شود. در نهایت احتمال می‌رود که با تقسیم شدن جریان به این دو ناحیه توسط صفحات، از قدرت جریان حلزونی اصلی کاسته شده و باعث می‌شود که خطوط جریان پایین‌رونده در پاشنه ساحل خارجی مستقیماً به بستر برخورد نکنند، زیرا ایجاد لایه برشی توسط گردابه‌های دنباله‌دار بین صفحات باعث منقطع شدن این خطوط جریان پایین‌رونده شده و باعث می‌شوند این جریان قبل از اینکه به دیوار ساحل خارجی برسند در محل صفحات غوطه ور به سمت پایین حرکت کنند که این عامل در دور کردن خط‌القعر از ساحل خارجی نقش مؤثری دارد .البته تفسیر دقیق نتایج حاصل از این بخش نیازمند بررسی دقیق الگوی جریان در قوس‌ها با وجود صفحات غوطه ور می‌باشد که خارج از بحث این مقاله می‌باشد ولی نتایج گفته شده براساس ایجاد لایه برشی مستند به بحث‌های ارایه شده در مورد صفحات مستغرق می‌باشد. بنابراین احتمال می‌رود که مکانسیم کارکرد صفحات غوطه ور با صفحات مستغرق تا حدود زیادی مشابه همدیگر باشند.

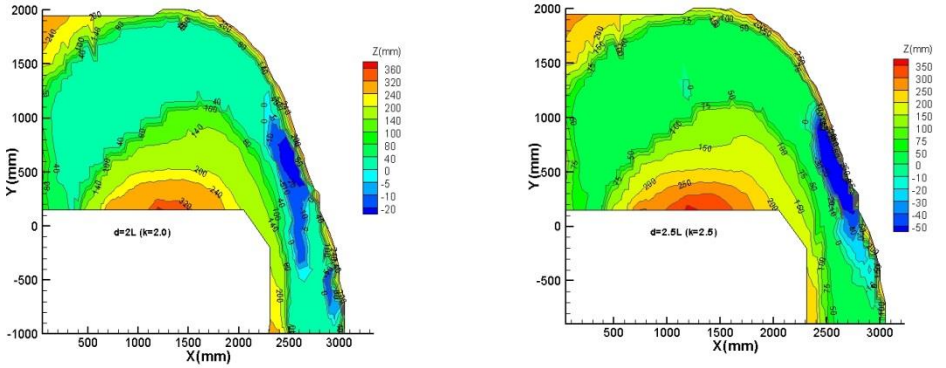
شکل (۵) تغییرات توپوگرافی بستر در فاصله نصب 1.0L(شکل ۵-ب) و 1.5L(شکل ۵-الف) صفحات غوطه ور را نشان می‌دهد. در فاصله نصب یک برابر طول صفحات(شکل ۵-ب) حداکثر عمق آبشستگی ثابت مانده(۵۰ میلی‌متر) و خط القعر از مقطع ۱۸۰ درجه قوس تا انتهای محدوده داده برداری به مقدار ۵ سانتی‌متر از پاشنه ساحل خارجی دور شده‌است. در حالت 1.5L(شکل ۵-الف) منطقه حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت 1.0L(شکل ۵-ب) از نظر وسعت افزایش داشته ولی مقدار آن ثابت مانده‌است(مقدار ۵۰ میلی‌متر). بازه دورشونده خط القعر از پایین‌دست کمی افزایش یافته چنین به‌نظر رسید که این روند دور شدن خط‌القعر از دیوار ساحلی با افزایش فاصله نصب صفحات غوطه‌ور از ساحل خارجی همچنان ادامه دارد به‌گونه‌ای که هم طول بازه دور شونده افزایش می‌یابد هم فاصله خط‌القعر از ساحل خارجی افزایش می‌یابد.



الف- در فاصله یک و نیم برابر طول ب- در فاصله نصب یک برابر طول صفحات

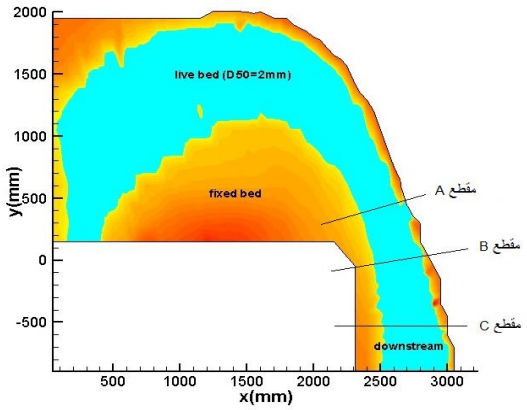
شکل ۵- توپوگرافی بستر پس از نصب صفحات بستر در فواصل مختلف نصب صفحات و

شکل (۶) تغییرات توپوگرافی بستر در فاصله نصب 2L(شکل ۶-ب) و 2.5L(شکل ۶-الف) صفحات غوطه ور را نشان می‌دهد. در فاصله نصب دو برابر طول صفحات غوطه ور از ساحل خارجی(شکل ۶-ب) حداکثر عمق آبشستگی به میزان ۶۰ درصد(مقدار حداکثر عمق چاله فرسایشی از ۵۰ میلی‌متر(شکل‌ها ۴-الف، ۴-ب، ۵-الف و ۵-ب) به ۲۰ میلی‌متر(شکل۶-ب) رسیده‌است) نسبت به حالت بدون صفحات، حالت چسپیده به ساحل خارجی(d=0)، 0.5L، L، 1.5L کاهش داشته و خط‌القعر کاملاً به سمت ساحل داخلی کشیده شده‌است. (مقایسه شکل ۶-ب با شکل‌های ۳-الف، ۴-ب، ۴-الف، ۵-ب و ۵-الف). علاوه بر جابجایی چشمگیر خط‌القعر از ساحل خارجی به ساحل داخلی و کاهش ۶۰ درصدی حداکثر عمق آبشستگی در حالت 2L(شکل ۶-ب) نسبت به سایر حالت‌های ذکر شده در قبل، در ساحل خارجی رسوب‌گذاری به مقدار قابل ملاحظه‌ی تا ارتفاع ۴۰ میلی‌متر مشاهده می‌گردد بنابراین می‌توان گفت در این حالت ساحل‌سازی در قوس خارجی اتفاق افتاده و نهایتاً جابجایی عرضی قوس کنترل شده‌است. در حالت 2.5L(شکل ۶-الف) حداکثر عمق آبشستگی برابر با ۵۰ میلی‌متر بوده که این مقدار نسبت به حالت 2L(شکل ۶-ب)، ۳۰ میلی‌متر افزایش داشته‌است. از طرف دیگر خط‌القعر کاملاً به پاشنه ساحل خارجی چسپیده‌است. زیرا احتمال می‌رود که با بیشتر کردن فاصله نصب صفحات غوطه ور از ساحل خارجی، نسبت تقسیم دو ناحیه(ناحیه بین صفحات و ساحل خارجی و ناحیه بین صفحات و ساحل داخلی) به هم نزدیک شده بنابراین اثر صفحات غوطه ور بر الگوی جریان در قوس کاهش خواهد یافت از نظر تئوری این صفحات برای ایجاد گردابه‌های دنباله‌دار قوی(هر اندازه گردابه‌های دنباله دار قوی‌تر باشند اثر صفحات بر الگوی جریان بیشتر خواهد بود) بایستی در محدوده‌ی از عرض مجرا قرار بگیرند که منطقه دارای سرعت جریان بیشتری نسبت به سایر مناطق در یک مقطع عرضی باشد(در قوس‌های ۱۸۰ درجه از موقعیت ۱۳۰ درجه به بعد حداکثر سرعت در نزدیک ساحل خارجی اتفاق می‌افتد(منصوری و همکاران (۱۳۸۹)). با بیشتر کردن فاصله نصب صفحات غوطه‌ور از ساحل خارجی سرعت جریان کاهش چشمگیر پیدا خواهد کرد و اثر صفحات بر الگوی جریان به شدت کاهش یافت(شکل۶-الف). با توجه به بحث‌های انجام شده در قبل نتیجه گرفته می‌شود که بهترین فاصله نصب صفحات دو برابر طول صفحات غوطه‌ور خواهد بود(شکل ۶-ب) یا به‌عبارتی چون عرض متوسط سطح آب در این بازه به‌طور متوسط ۷۰-۶۰ سانتی‌متر بوده معادل ۰/۲-۰/۱۸ عرض سطح آب می‌باشد. برای روشن شدن بهتر تغییرات بستر در فواصل نصب متغیر از ساحل خارجی در سه مقطع و در حالت‌های مختلف روند تغییرات در ادامه بررسی می‌شود. شکل (۷) موقعیت سه مقطع A، B و C را نشان می‌دهد.



الف- در حالت دو و نیم برابر طول صفحات **ب- در حات دو برابر طول صفحات**

شکل ٦- توپوگرافی بستر در فواصل مختلف نصب صفحات



شکل۷- تعیین موقعیت مقاطع B.A و C در مدل فیزیکی قوس جنگیه

جدول۱- بررسی حداکثر عمق آبشستگی(ds) در فواصل نصب مختلف در مقطعA

مقطع A	عمق آبشستگی بدون صفحات(dsmax)	d=2.5L	d=2.0L	d=1.5L	d=1.0L	d=0.5L	d=0
حداکثر عمق آبشستگی(میلی‌متر)	۵۷	۷۳	۲۱	۷۳	۶۷	۵۷	۶۷
درصد تغییر حداکثر عمق آبشستگی(R٪)	۰	۲۸	-۶۳/۲	۲۸	۱۷/۵	۰۰	۱۷/۵

شکل(۸)تغییرات بستر در مقطع عرضی را برای شش حالت مختلف نصب صفحات غوطه ور از ساحل خارجی در مقطع A را نشان می‌دهد(این مقطع بحرانی‌ترین منطقه در قوس مورد مطالعه از نظر فرسایش‌پذیری و چسپیده به روستای جنگیه می‌باشد). برای روشن شدن بهتر اثر فاصله نصب صفحات از ساحل خارجی بر مقدار حداکثر عمق آبشستگی در شش حالت در جدول (۱) با هم مقایسه شده‌اند. درصد تغییر حداکثر عمق آبشستگی از معادله (۱) حساب شده‌است:

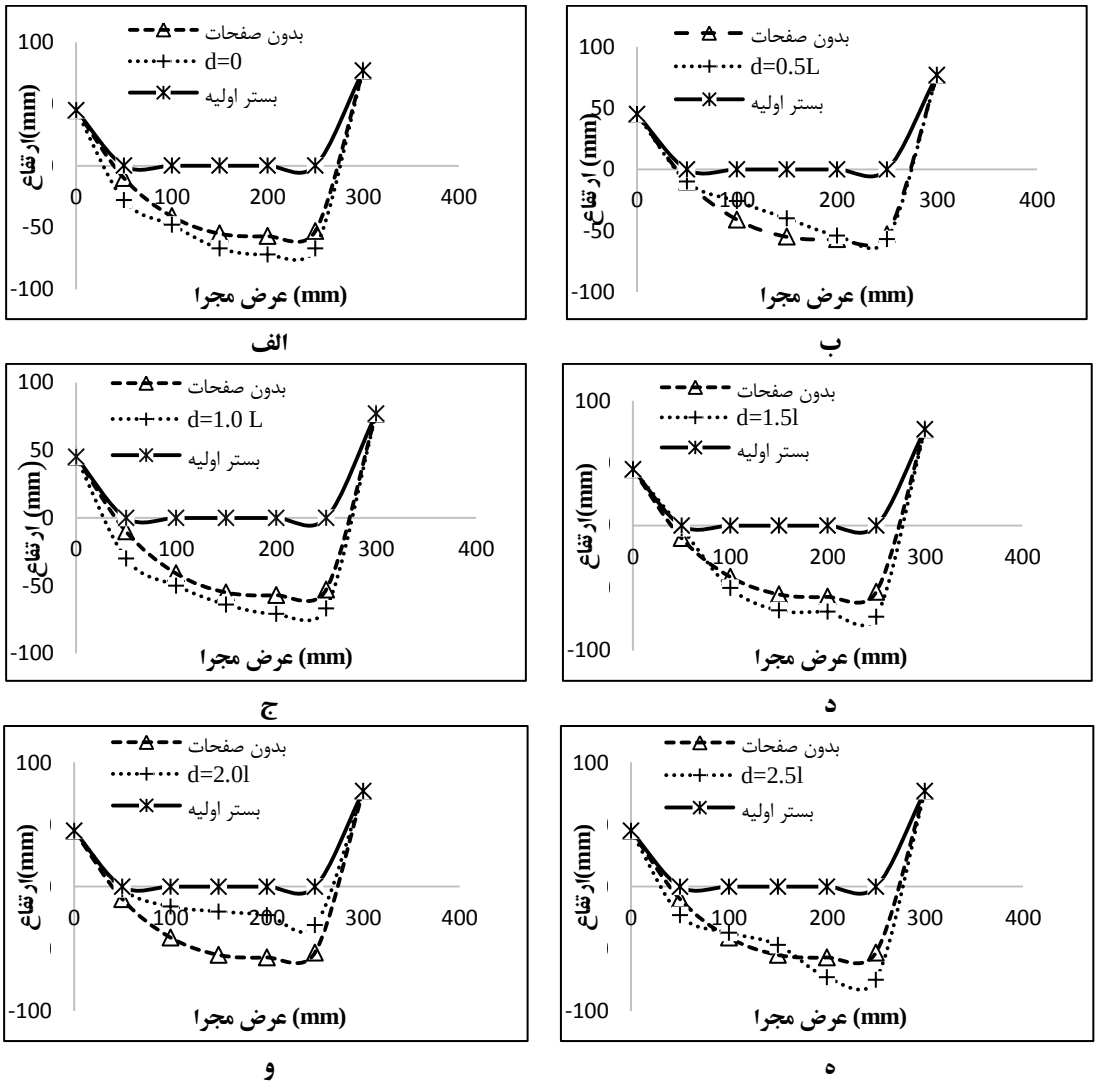
$$\%R = \frac{ds_{d=kl} - ds_{w.v}}{ds_{w.v}} * ۱۰۰ \qquad (۱)$$

$\%R$: درصد تغییرات حداکثر عمق آبشستگی.

$ds_{d=kl}$: حداکثر عمق آبشستگی در حالت‌های متفاوت فاصله از ساحل نصب صفحات غوطه‌ور.

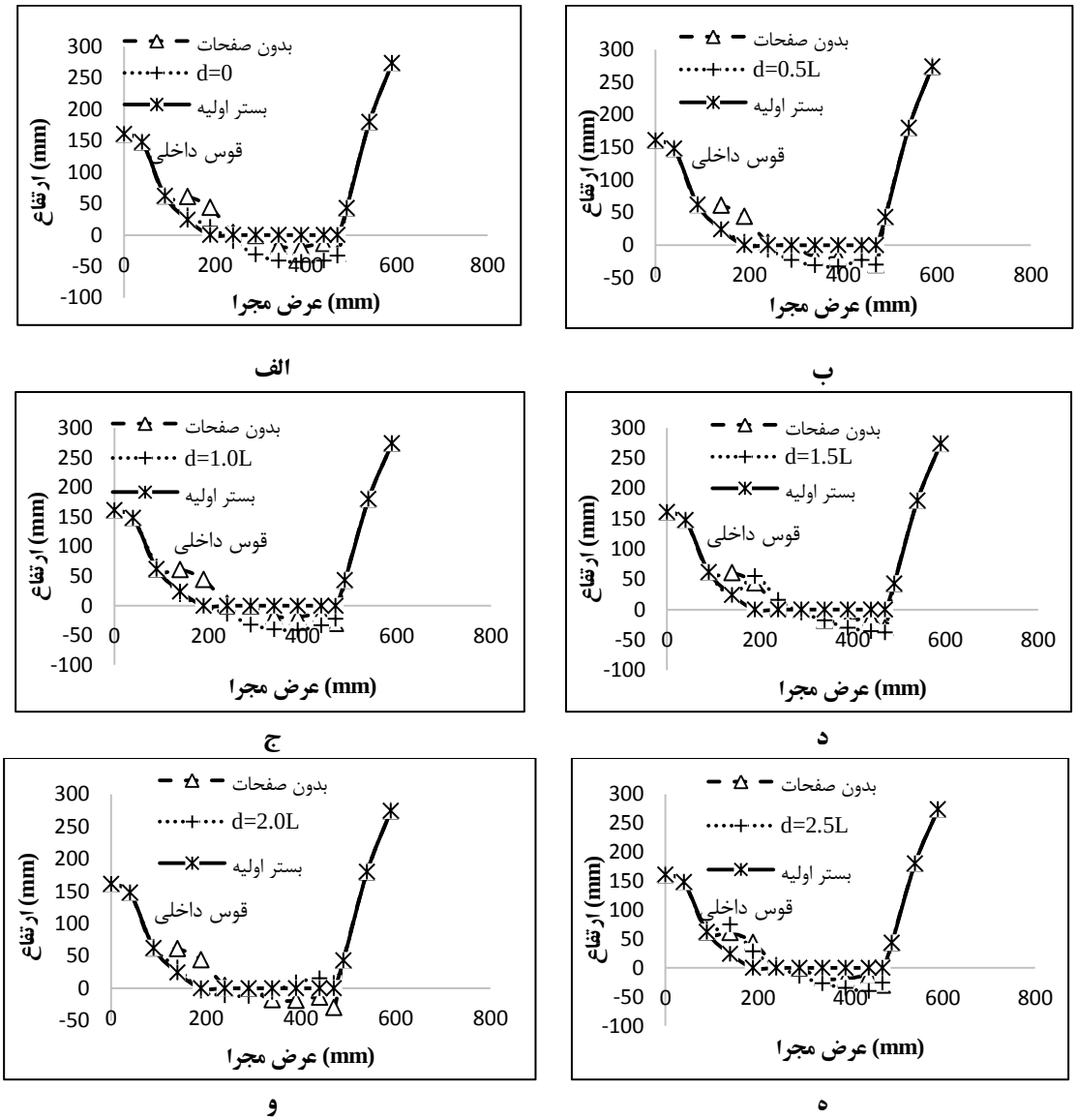
$ds_{w.v}$: حداکثر عمق آبشستگی در حالت بدون صفحات غوطه‌ور.

جدول (۱) درصد تغییر حداکثر عمق آبشستگی در مقطع A را در شش فاصله مختلف نصب صفحات از ساحل خارجی نشان می‌دهد. با توجه به جدول در همه حالات به غیر از d=2.0L، مقدار حداکثر عمق آبشستگی از ۱۷/۵ تا ۲۸ درصد افزایش یافته‌است. ولی در d=2.0L، مقدار حداکثر عمق آبشستگی ۶۳/۲ درصد کاهش داشته‌است. تزریق مواد رنگی و خاک اره در حین آزمایش نشان داد که در شرایطی که صفحات حضور نداشته عمده مواد به سمت ساحل خارجی هدایت می‌شدند که به دلیل جابجایی محور حداکثر سرعت به ساحل خارجی تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز می‌باشد. با نصب صفحات بخش عمده‌ای از مواد رها شده توسط صفحات به سمت میانه قوی هدایت می‌شدند و موادی که در بین صفحات قرار می‌گرفت با سرعت بسیار کمتر حرکت می‌کردند، بدین ترتیب می‌توان این‌طور بیان نمود که عملاً نصب صفحات باعث می‌شد تا جریان در عرض به دو ناحیه بین صفحات و نزدیک ساحل خارجی با سرعت بسیار کمتر و ناحیه بین صفحات و ساحل داخلی با سرعت بیشتری تقسیم می‌شد که البته نسبت تقسیم این دو ناحیه توسط صفحات عامل اصلی این تغییرات می‌باشد.



شکل۸- تغییرات بستر با نصب صفحات غوطه ور در حالت‌های مختلف فاصله از ساحل الف) d=0، ب) d=0.5L، ج) d=1.0L، د) d=1.5L، و) d=2.0L و ه) d=2.5L در مقطع A

شکل (۹) تغییرات تراز بستر در شش حالت نصب صفحات غوطه ور در مقطع عرضی B را نشان می‌دهد. در این مقطع با توجه به نمودارهای (۹-الف)، (۹-ب)، (۹-ج)، (۹-د) و (۹-ه) حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون صفحات یا ثابت مانده و یا افزایش یافته و در ساحل داخلی از میزان نهشته شدن رسوبات کاسته‌شده است. ولی در حالت d=2.0L (شکل۹-و) آبشستگی محدود شده است.



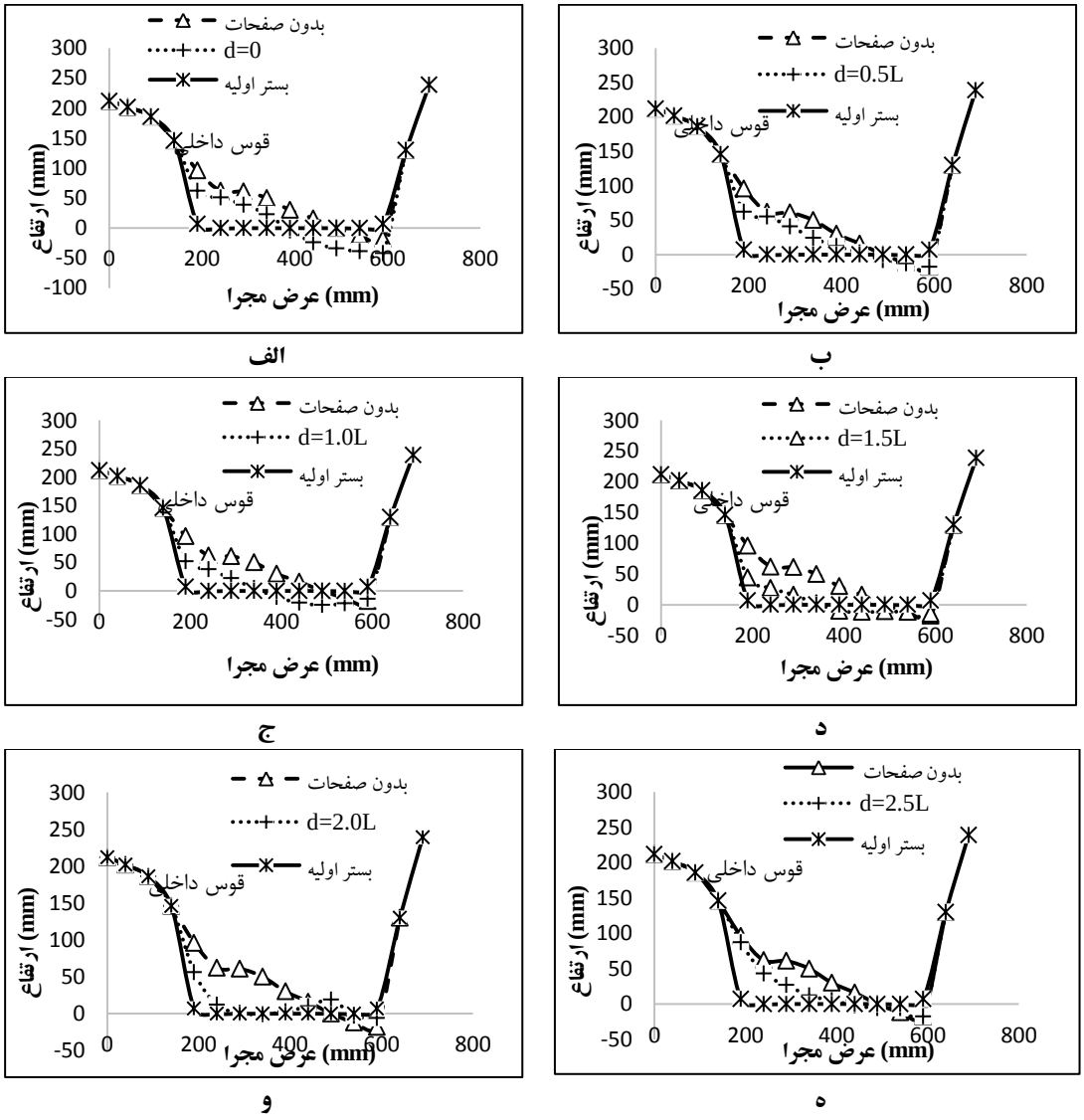
شکل۹- تغییرات بستر با نصب صفحات غوطه ور در حالت‌های مختلف فاصله از ساحل الف) d=0، ب) d=0.5L، ج) d=1.0L، د) d=1.5L، و) d=2.0L و ه) d=2.5L در مقطع B

جدول (۲) درصد تغییر حداکثر عمق آبشستگی در مقطع B را در شش فاصله مختلف نصب صفحات از ساحل خارجی نشان می‌دهد. با توجه به این جدول در همه حالت‌ها به غیر از d=2.0L، مقدار حداکثر عمق آبشستگی از ۱۰ تا ۴۳ درصد افزایش یافته‌است. ولی در d=2.0L، مقدار حداکثر عمق آبشستگی ۶۰ درصد کاهش داشته-است.

شکل (۱۰) تغییرات تراز بستر در شش حالت نصب صفحات غوطه ور در مقطع عرضی C را نشان می‌دهد. در این مقطع با توجه به نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های (۱۰-الف)، (۱۰-ب)، (۱۰-ج)، _۱۰-د) و (۱۰-ه) حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون صفحات یا ثابت مانده و یا افزایش یافته و در ساحل داخلی از میزان نهشته شدن رسوبات کاسته‌شده‌است. ولی در حالت d=2.0L (شکل۱۰-و)، در محل قرار گیری صفحات غوطه‌ور در بستر تپه رسوبی در فاصله d=2.0L معادل ۱۲ سانتی‌متر از ساحل خارجی(زیر صفحات غوطه‌ور) تشکیل شده و نزدیک دیوار ساحل داخلی از میزان رسوب‌گذاری به شدت کاسته‌شده‌است.

جدول۲- بررسی حداکثر عمق آبشستگی(ds) در فواصل نصب مختلف در مقطعB

مقطع B	عمق آبشستگی بدون صفحات(ds_{max})	d=2.5L	d=2.0L	d=1.5L	d=1.0L	d=0.5L	d=0
حداکثر عمق آبشستگی(میلی‌متر)	۳۰	۴۰	۱۲	۳۸	۴۱	۳۳	۴۳
درصد تغییر حداکثر عمق آبشستگی(R٪)	۰	۳۳/۳	-۶۰,۰	۲۶/۶	۳۶/۶	۱۰	۴۳



شکل۱۰- تغییرات بستر با نصب صفحات غوطه ور در حالت‌های مختلف فاصله از ساحل الف) d=0، ب) d=0.5L، ج) d=1.0L، د) d=1.5L، و) d=2.0L و ه) d=2.5L در مقطع C

جدول۳- بررسی حداکثر عمق آبشستگی(ds) در فواصل نصب مختلف در مقطع C

مقطع C	عمق آبشستگی بدون صفحات(ds_{max})	d=2.5L	d=2.0L	d=1.5L	d=1.0L	d=0.5L	d=0
حداکثر عمق آبشستگی(میلی‌متر)	۱۸	۱۸	۶	۱۵	۲۵	۱۸	۲۶
درصد تغییر حداکثر عمق آبشستگی(R٪)	۰	۰۰	-۶۷	-۱۶/۶	۳۶/۶	۰۰	۴۳

جدول (۳) درصد تغییر حداکثر عمق آبشستگی در مقطع C را در شش فاصله مختلف نصب صفحات از ساحل خارجی نشان می‌دهد. در این مقطع حداکثر عمق آبشستگی در حالت d=0، ۴۳ درصد افزایش، در d=0.5L، بدون تغییر، در d=L، ۳۶/۶ درصد افزایش، در d=1.5L، ۱۶/۶ درصد کاهش، در d=2.0L، ۶۷ درصد کاهش و در d=2.5L، بدون تغییر مانده‌است.

نتیجه‌گیری

با انجام آزمایشات بر روی مدل فیزیکی قوس جنگیه این نتیجه حاصل شد که بهترین فاصله نصب صفحات غوطه ور از ساحل خارجی معادل دو برابر طول صفحات(d=2.0L) یا ۱۸ تا ۲۰ درصد عرض سطح آب می‌باشد. در این فاصله از ساحل نصب صفحات غوطه‌ور، حداکثر عمق آبشستگی ۶۰ تا ۷۰ درصد کاهش یافته‌است و همچنین در بازه زیادی در منطقه فرسایش‌پذیر، رسوب‌گذاری در ساحل خارجی اتفاق می‌افتد که از نظر ساحل سازی نتیجه بسیار مطلوبی در مهندسی رودخانه می‌باشد. همچنین نصب صفحات غوطه‌ور در نزدیک دیوار ساحلی قوس خارجی مانع از رسوب‌گذاری در قوس داخلی گردیده‌است. با توجه به موقعیت استراتژیک قوس جنگیه(به‌علت اینکه در مجاورت قوس مورد مطالعه روستای جنگیه وجود دارد) کاربرد صفحات غوطه‌ور موثر بوده و همچنین با توجه به دایمی بودن جریان و عمیق بودن رودخانه کارون و عدم آبشستگی اطراف صفحات غوطه‌ور، این سازه برای منطقه مورد مطالعه مناسب بوده و اجرای آنها نسبت به سایر سازه‌های اصلاح الگوی جریان در قوس جنگیه راحت‌تر و مقرون به صرفه‌تر می‌باشد.

منابع

۱- جراح زاده، ف. و م. شفاعی بجستان، ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی وضعیت خط القعر تحت تاثیر وجود سرریز مستغرق در خم ۹۰ درجه تند . پژوهش و سازندگی. پژوهشهای آبخیزداری، (۹۷): ۲۹-۱۸.

۲- رامش، س. جراح زاده، ف. مشکورنیا، ه. و م. شفاعی بجستان، ۱۳۸۹. وضعیت پروفیل طولی فرسایش و رسوب تحت تأثیرسرریز Bendway در خم ۹۰ درجه تند. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تربیت مدرس .

۳- عباس پور، م. واقفی، م. و م. قدسیان، ۱۳۸۹. بررسی اثر نسبت استغراق آبشکن های T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه بر توپوگرافی بستر. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تربیت مدرس.

۴- عزیزی، ر. شفاعی بجستان، م. قمشی، م. و ح. موسوی جهرمی، ۱۳۹۱. تأثیر شکل صفحه ی مستغرق بر آبشستگی موضعی و الگوی رسوب گذاری در کانالهای آبرفتی. مجله دانش آب و خاک، دانشگاه تبریز. ۲۲(۲): ۷۸-۶۷.

۵- مشکورنیا، ه. و م. شفاعی بجستان، ۱۳۹۰. بررسی تأثیر طول سرریز مستغرق بر تغییرات توپوگرافی بستر در خم ۹۰ درجه ی تند. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران .دانشگاه گیلان.

۶- منصوری، ا.م. نیشابوری، ع.ا. و ا. هنربخش، ۱۳۸۹. مطالعه سه بعدی تغییرات تراز بستر در قوس ۱۸۰درجه. فصلنامه مهندسی عمران مدرس، ۱۰(۱):۵۰-۴۲.

۷- موسوی، ب. صانعی، م. سلاجقه، ع. و ب. معتمد وزیری ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول آبشکن در کاهش فرسایش کناره‌های رودخانه. مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. گزارش فنی. ۴(۱۲):۶۸-۶۵.

۸- همتی، م. قمشی، م. و س.م. کاشفی‌پور، ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی تاثیر زاویه‌ی سریزهای مستغرق بر الگوی رسوب و فرسایش در پیچانرود. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۸(۳):۷۶-۶۶.

9- Abad, J. D. Rhoalds, B. L. Güneralp, I. and M. H. García. 2008. Flow structure at different stages in a meander-bend with bendway weirs. Journal of Hydraulic Engineering, 134(8): 1052-1063.

10- Bhuiyan, F. Hey, R. D. and P.R. Wormleaton. 2010. Bank-attached vanes for bank erosion control and restoration of river meanders. Journal of Hydraulic Engineering, 136(9): 583-596.

11- Duan, J. G. 2009. Mean flow and turbulence around a laboratory spur dike. Journal of Hydraulic Engineering, 135(10):803-811

12- Jarrahzade, F. and M. Shafai Bejestan. 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.

13- Jia, Y. Scott, S. Xu, Y. Huang, S. and S.S.Y Wang. 2009. Numerical study of flow affected by bendway weirs in victoria bendway, the Mississippi river. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 135(11):902-916.

14- Shafai Bejestan, M. Jarrahzade, F. Ramesh, S and H. Mashkoornia. 2010. Experimental study on bendway weirs. River flow, 2010 Dietrich, Koll, Aberle & Geisenhainer, (Eds): 1347-1352.

15- Sharma, K. and P. Mohapatra, 2012. Separation zone in flow past a spur dyke on rigid bed meandering channel. Journal of Hydraulic Engineering, 138(10): 897–901.

16- Yun, L. Baomin, W and L Yongqiang. 2012. Research on application of removable non-rescue submerged groins in lower yellow river training works. Procedia Engineering, (28): 781 – 785.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering **Vol.40, No. 3, Fall 2017, p. 21-33**

EXTENDED ABSTRACT

Experimental Study of the Effects of Immersed Vanes Distance from the Bank on Erosion Pattern and Bed Sedimentation

H. Salaj Mahmoudi[1] and M. Shafai Bajestan[2*]

1- Ph.D. Educated of Department of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor of Department of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz. Iran. *shafai@yahoo.com*

Received:30 January 2016 Accepted: 17 May 2016

Keywords: River, Bend, Bank Erosion, Immersed Vanes .

Introduction

Due to the formation of the secondary and helicoidally vortices in river bend, bed scour at outer bank toe and sedimentation in inner banks can cause dramatic river morphological changes. To manage the sedimentation of the river bed in bends, many techniques have been developed in the past. In this regard, valuable resources such as Devan (2009), Sharma and Mahapatra (2012), Yun et al. (2012), Jarrahzadeh and Shafai Bejestan (2012), Mashkornia and Shafai Bejestan (1392), Shafai Bejestan et al. (2010), Jia et al. (2009), Abad et al. (2008), Bhuiyan et al. (2010) can be found in the literature. All of these measures are installed at the bed which can initiate a new scour pattern around the structure and destroy the structure itself. Therefore, in the present study a new technique, immersed vane, has been experimentally investigated which are installed above the river bed. MethodologyIn this research, a distorted rigid bed physical model of the Jangiye Karun River bend, which is a 180 degree, downstream of Ahvaz with a horizontal scale of 300 and a vertical scale of 50 is constructed. To investigate erosion and sedimentation of raw materials, polyethylene with an average diameter of 2 mm and a density of 1.1 were used as sediment. The experiments were carried out in discharge of 21.4 liters / s and 15.5cm in depth (depth in the upstream of the bend) equivalent to the Froude number of 0.2 (equivalent to flood discharge with a two year return period in the Karun River). Adjusting of the flow depth within the model (=15.5cm in all tests) was done by the downstream gate. 7 number of Galvanized vanes with a thickness of 2 mm in dimensions of 6 * 3 cm were welded to a rod. This rod was held by an arm that was attached to the bank. The system was designed to allow the vanes to be placed at any desired distance from the bank. Vanes are tested in different distances (d) zero, 3, 6, 9, 12 and 15 cm from the outer bank. At the end of each test bed topography was measured and were plotted and compared with the results of the baseline test.

Results and Discussion

The results showed that, generally, immersed vanes can modify the flow in such that the bank scour is shifted toward the center of the flume. In the installation modes of which d=0.5L, d=1.0L and d=1.5L, the maximum scour depth did not change in comparison with the baseline test, however the scour hole area is reduced and the thalweg is shifted toward the flume center. The vanes installed at twice of the vane length from the outer bank can perform better result which reduces the maximum scour depth by 70%.

Conclusions

The results indicated that generally, immersed vanes can modify the flow in such that the bank scour is shifted toward the flume center. The vanes installed at twice of the vane length from the outer bank can perform better result which reduces the scour maximum depth by 70%. Also, it was found that the installation of immersed vanes near the outer bank can cause sediment deposition in between the vanes. Due to the strategic position of the Jangiye's bend, the use of immersed vanes has been effective and also due to the continuous flow and depth of the Karun River and the lack of scouring around the immersion plates, this structure is suitable for the study area and its implementation is more convenient and cost effective than the other modifications of the flow pattern structures.

References

1- Abad, J. D. Rhoalds, B. L. Güneralp, I. and M. H. García. 2008. Flow structure at different stages in a meander-bend with bendway weirs. Journal of Hydraulic Engineering, 134(8): 1052-1063.

2- Bhuiyan, F. Hey, R. D. and P.R. Wormleaton. 2010. Bank-attached vanes for bank erosion control and restoration of river meanders. Journal of Hydraulic Engineering, 136(9): 583-596.

3- Devan, J. G. 2009. Mean flow and turbulence around a laboratory spur dike. Journal of Hydraulic Engineering, 135(10):803-811

4- Jarrahzade, F. and M. Shafai Bejestan. 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.

5- Jia, Y. Scott, S. Xu, Y. Huang, S. and S.S.Y Wang. 2009. Numerical study of flow affected by bendway weirs in victoria bendway, the Mississippi river. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 135(11):902-916.

6- Shafai Bejestan, M. Jarrahzade, F. Ramesh, S and H. Mashkoornia. 2010. Experimental study on bendway weirs. River flow, Dietrich, Koll, Aberle & Geisenhainer, (Eds): 1347-1352.

7- Sharma, K. and P. Mohapatra, 2012. Separation zone in flow past a spur dyke on rigid bed meandering channel. Journal of Hydraulic Engineering, 138(10): 897–901.

8- Yun, L. Baomin, W and L Yongqiang. 2012. Research on application of removable non-rescue submerged groins in lower yellow river training works. Procedia Engineering, (28): 781 – 785.