

## اثر فاصله شکاف از دماغه آبشکن مثلثی بر الگوی فرسایش و رسوب

محسن درستی\*، محمود شفاعی بجستان و فرشید امیر سالاری میمنی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۴)

### چکیده

آبشستگی اطراف سازه‌های واقع در رودخانه، مهم‌ترین عامل تخریب این سازه‌ها است و از این رو روش‌های مختلفی برای کاهش آن مطالعه شده است. ایجاد شکاف، یکی از این روش‌ها است که در موقعیت مناسب می‌تواند با اصلاح الگوی جریان آبشستگی را کنترل کند. در تحقیق حاضر تأثیر استفاده از دو مدل شکاف مستطیلی به موازات وتر در تک‌آبشکن مثلثی با سطح بازشدگی ۱۰ درصد سطح مؤثر آبشکن و با نسبت  $a/b = 4$  (a و b به ترتیب طول و عرض شکاف) در دو موقعیت یکی نزدیک به بستر (نزدیک به دماغه آبشکن) و دیگری نزدیک به سطح آب (دور از دماغه آبشکن) بر الگوی فرسایش و رسوب اطراف دماغه آبشکن مثلثی در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار گرفت. در تمامی آزمایش‌ها عمق جریان و زاویه نصب آبشکن مثلثی ثابت بوده است. آزمایش‌ها در شرایط هیدرولیکی متفاوت (اعداد فرود ۰/۲۸، ۰/۳ و ۰/۳۲) انجام شد. در نهایت نتایج با آبشکن بدون شکاف (آزمایش‌های شاهد) مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که شکاف نزدیک به بستر، عملکرد بهتری نسبت به شکاف نزدیک به سطح آب و آزمایش‌های شاهد در کاهش حداکثر عمق آبشستگی موضعی و ترسیب رسوبات شسته شده نسبت به ساحل خارجی داشته است. میزان درصد کاهش حداکثر عمق آبشستگی موضعی توسط حالت شکاف نزدیک بستر در اعداد فرود ۰/۲۸، ۰/۳ و ۰/۳۲ نسبت به آزمایش شاهد به ترتیب ۲۳ درصد، ۱۳ درصد و ۲۴ درصد و نسبت به شکاف نزدیک سطح آب به ترتیب برابر است با ۶۰ درصد، ۴۰ درصد و ۳۲ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: موقعیت شکاف، آبشکن مثلثی، حفاظت ساحل، الگوی فرسایش و رسوب

۱. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Mohsendrosti@yahoo.com

## مقدمه

فرسایش سواحل در قوس خارجی رودخانه‌ها یکی از پدیده‌هایی است که خسارت‌های زیادی از جمله کاهش کیفیت آب، از بین رفتن اراضی کشاورزی، پر شدن مخازن سدها و کاهش عمر مفید آنها، از بین رفتن اکوسیستم‌های ساحلی و نوار ساحلی رودخانه (یک نوار حیاتی و زیستگاه طبیعی برای جانوران زمینی، پرندگان، حشرات و گونه‌های منحصر به فرد محسوب می‌شود) را به دنبال دارد. سازه‌های زیست‌محیطی از جمله سازه‌های اصلاح الگوی جریان است که علاوه بر کاهش پدیده آبشستگی و فرسایش سواحل، باعث ترمیم و توسعه زیستگاه ماهی‌ها و دیگر موجودات زنده آبی رودخانه می‌شوند (۱۱). رادس‌پینر و همکاران با انجام تحقیقی عملکرد سازه‌های زیست‌محیطی را ارزیابی کردند (۱۶). آنها اطلاعاتشان را با مطالعات موردی، مقالات مجلات مختلف، استانداردهای ارائه شده توسط سازمان‌های مختلف، نظرسنجی از کارکنان سازمان‌های دولتی، سازمان‌های فدرال (Federal agencies) در آمریکا و شرکت‌های خصوصی و غیره جمع‌آوری کردند. به‌طور کلی نتایج بررسی آنها نشان داد که سازه‌های زیست‌محیطی در زمینه‌های هزینه، اجرا، تعمیر، نگهداری و افزایش کارایی محیط زیست نسبت به سازه‌های جایگزین نظیر پوشش‌های سنگ‌چین و آبشکن‌ها و غیره ترجیح داده می‌شوند. صفحات متصل به ساحل که در این مقاله به آبشکن‌های مثلثی اطلاق خواهد شد، از جمله سازه‌هایی زیست‌محیطی هستند که از جنس چوب، فلز، بتن و یا مواردی نظیر آن ساخته می‌شوند که با زاویه کم (۳۰-۲۰ درجه) نسبت به ساحل بالادست و به‌صورت شیب‌دار از ساحل تا بستر رودخانه (مثلثی شکل) به گونه‌ای که حتی در جریان‌های کم مستغرق هستند، احداث می‌شوند. به‌منظور کاهش فرسایش در قوس خارجی با استفاده از آبشکن مثلثی تحقیقاتی در داخل و خارج کشور صورت گرفته است. بویان و همکاران (۱۲) در تحقیقی جهت کنترل فرسایش انحنای رودخانه از آبشکن مثلثی استفاده کردند، آنها در آزمایش‌های خود از دو حالت تک و

سری آبشکن با طول مؤثر یک‌سوم عرض کانال استفاده کردند، نتایج نشان داد وقتی یک یا گروهی از آبشکن‌های مثلثی نصب می‌شوند، چاله فرسایشی در ساحل خارجی پر می‌شود و خط‌القدر به طرف مرکز رودخانه منتقل می‌شود و درحالی‌که از تک‌آبشکن استفاده شد، بهترین عملکرد زاویه نصب به ساحل خارجی بالادست زاویه ۳۰ درجه به‌دست آمد. تحقیقات اخیر انجام شده توسط بهرامی یاراحمدی و همکاران نشان داد که استفاده از آبشکن‌های مثلثی به‌جای آبشکن‌های مستطیلی باعث کاهش ۵۰ درصد حداکثر عمق آبشستگی در پنجه سازه خواهد شد (۳). صفحات متصل به ساحل با وجود اینکه از قوس رودخانه در برابر فرسایش محافظت می‌کنند، متأسفانه خود سازه نیز با توجه به الگوی جریان‌های مخرب تشکیل شده حول آن در معرض تخریب است. ایجاد شکاف یکی از روش‌های اصلاح الگوی جریان اطراف سازه‌ها است. تعبیه شکاف موجب کاهش میزان تنش‌های برشی کف کانال، کوچک‌تر شدن ناحیه تنش‌های برشی بحرانی و کاهش قدرت گرداب‌های مخرب شکل گرفته در اطراف سازه می‌شود (۱۰). نظریه استفاده از شکاف برای اولین بار توسط چپو (۱۳) در پایه‌های پل ارائه شد. چپو در مطالعات خود پارامترهایی همچون عرض، ارتفاع و موقعیت شکاف را بر روی پایه پل بررسی کرد. نتایج نشان داد که با قرارگیری یک شکاف با عرض  $a/b=8$  و  $a$  به ترتیب طول و ارتفاع شکاف دو برابر قطر پایه ۲۵٪ برابر قطر پایه پل و عرض شکاف)، شکاف نزدیک بستر به میزان ۲۰ درصد و نزدیک سطح آب تا پنج درصد به کاهش عمق آبشستگی کمک می‌کند. همچنین شکافی به عرض نصف پایه و ارتفاع دو برابر قطر پایه ( $a/b=4$ ) می‌تواند عمق آبشستگی را به میزان ۳۰ درصد کاهش دهد. حیدرپور و همکاران (۶) و آقاخانی افشار (۱) به‌صورت آزمایشگاهی مطالعاتی در زمینه استفاده از شکاف در پایه‌های پل انجام دادند. ایشان نتیجه گرفتند عملکرد شکاف به موقعیت قرارگیری آن نسبت به تراز بستر بستگی دارد، به‌طوری‌که شکاف نزدیک بستر بسیار مؤثرتر از شکاف دور از بستر در کاهش آبشستگی عمل می‌کند. حیدرنژاد و همکاران

علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. آزمایش‌ها در یک فلوم قوسی با دیواره پلکسی‌گلاس، به عرض ۷۰ سانتی‌متر و با زاویه مرکزی ۹۰ درجه انجام شد. شکل (۱) نمایی از فلوم قوسی ۹۰ درجه مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. نسبت شعاع قوس به عرض فلوم چهار بوده است. طول کانال مستقیم در بالادست قوس پنج متر و در پائین دست قوس سه متر بوده است. در انتهای فلوم یک دریچه کشویی جهت تنظیم عمق جریان قرار داشت. تنظیم دبی ورودی توسط شیرفلکه ورودی فلوم انجام می‌گرفت. میزان دبی ورودی توسط دبی‌سنج اولتراسونیک (Ultrasonic flowmeter) با دقت برابر  $\pm 1$  درصد میزان قرائت شده، اندازه‌گیری می‌شد. از ماسه با قطر متوسط ( $d_{50}$ ) معادل ۱/۵ میلی‌متر و ضریب انحراف معیار هندسی معادل ۱/۲۲ به‌عنوان رسوبات بستر استفاده شد و در لایه‌ای به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر در کف فلوم گسترانیده شد. در تمام آزمایش‌ها، شرایط آب زلال حاکم بوده است. آبشکن‌های مثلثی مورد استفاده در این تحقیق، به شکل مثلث از جنس پلکسی‌گلاس و به ضخامت چهار میلی‌متر انتخاب شد. زاویه تک‌آبشکن نسبت به ساحل بالادست ۳۰ درجه، طول مؤثر (فاصله رأس صفحه مثلثی از ساحل بیرونی که همان طول تصویر شده سازه است) در همه آزمایش‌ها ۲۰ درصد عرض فلوم معادل ۱۴ سانتی‌متر انتخاب شد (۲ و ۱۱). شکاف مورد استفاده در این تحقیق به‌صورت مستطیلی و به موازات وتر با نسبت  $a/b=4$  (a و b به ترتیب طول و عرض شکاف) با سطح بازشدگی ۱۰ درصد سطح مؤثر سازه، انتخاب شد (۱۳)، همچنین موقعیت شکاف‌های مورد استفاده به‌صورت یکی نزدیک بستر (نزدیک به دماغه آبشکن مثلثی) و یکی نزدیک سطح آب (دور از دماغه آبشکن مثلثی) طوری انتخاب شد که فاصله شکاف از سه ضلع آبشکن مثلثی، پنج درصد طول سازه شود. آبشکن‌های مثلثی شکاف‌دار مورد استفاده در این تحقیق و حریم تعریف شده در شکل (۲) مشخص است. برای انجام آزمایش‌ها از دبی‌های ۳۳، ۳۵ و ۳۷ لیتر بر ثانیه (اعداد فرود ۰/۲۸، ۰/۳ و ۰/۳۲) با عمق ثابت ۱۴ سانتی‌متر استفاده شد.

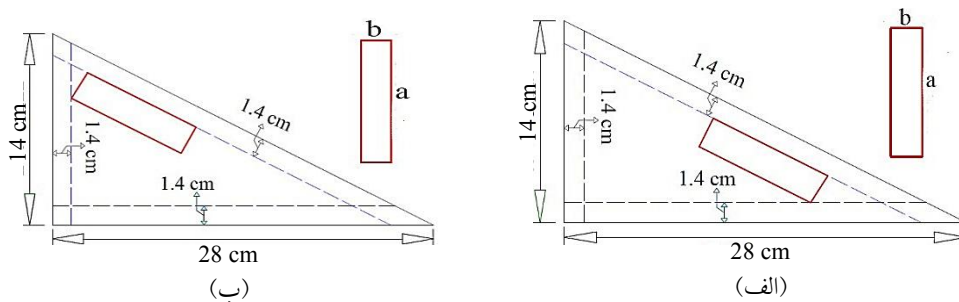
تأثیر شکاف را در کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل در قوس ۱۸۰ درجه بررسی کردند (۱۴). نتایج آنها نشان داد، درصد کاهش آبشستگی به‌ازای قرارگیری شکاف در ارتفاع‌های مختلف از سطح بستر بین ۱۲ تا ۲۴ درصد می‌باشد. کاردان و همکاران با مطالعه عددی تنش‌های برشی در پیرامون پایه‌های پل با مقاطع مختلف نشان دادند استفاده از شکاف موجب کاهش مقدار بحرانی این تنش‌ها می‌شود (۹). در زمینه استفاده از شکاف برای کاهش آبشستگی اطراف آبشکن‌ها تحقیقی توسط عبدالله‌پور و همکاران در زمینه عملکرد مدل‌های مختلف شکاف با تغییرات ارتفاع، عمق، عرض شکاف، همچنین فاصله از دماغه آبشکن مورد ارزیابی قرار گرفته و با حالت آبشکن بدون شکاف مقایسه شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مدل‌های دارای شکافی که شامل ارتفاع شکاف تا زیر بستر و دارای عرض شکاف بیشتر هستند، عملکرد بهتری در کاهش عمق و ابعاد حفره آبشستگی داشتند. همچنین درصد کاهش عمق آبشستگی برای مدل‌ها از ۱۱/۸ تا ۴۳ درصد متغیر بود (۸). حسینی به بررسی تأثیر موقعیت شکاف (فاصله شکاف از دماغه صفحات و طول شکاف) در کاهش آبشستگی حول صفحات متصل به ساحل در مسیر مستقیم پرداخت. نتایج نشان داد که هرچه طول شکاف نسبت به تراز بستر و فاصله شکاف از دماغه بیشتر است، به دلیل کاهش تلاطم جریان و قدرت گرداب‌های اطراف صفحات عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. همچنین در مقایسه صفحات شکاف‌دار با صفحات بدون شکاف نیز صفحات شکاف‌دار، عملکرد بهتری داشتند (۵). بررسی‌ها نشان داد که مهم‌ترین پارامترهایی که بر روی عملکرد شکاف تأثیرگذار است شامل طول، عرض و موقعیت شکاف نسبت دماغه صفحه مثلثی است. لذا در تحقیق حاضر با ثابت نگه‌داشتن طول و عرض شکاف به بررسی اثر فاصله شکاف از دماغه تک صفحه مثلثی متصل به ساحل در قوس ملایم ۹۰ درجه در شرایط هیدرولیکی متفاوت، پرداخته می‌شود.

## مواد و روش‌ها

تمامی آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی



شکل ۱. نمایی از فلوم قوسی مورد استفاده در این تحقیق



شکل ۲. صفحات شکافدار مورد استفاده در این تحقیق: الف) شکاف نزدیک سطح آب و ب) شکاف نزدیک بستر

باز شد و جریان به آرامی وارد فلوم شد، به گونه‌ای که تغییری در توپوگرافی بستر ایجاد نکند. پس از بالا آمدن سطح آب به اندازه کافی، با بازکردن شیرفلکه ورودی جریان به صورت تدریجی به دبی مورد نظر افزایش یافت و سپس توسط دریچه کشویی، عمق جریان در حد مورد نظر تنظیم می‌گشت. پس از پایان یافتن مدت زمان آزمایش، ابتدا دریچه کشویی به آرامی پائین آورده می‌شد، سپس شیرفلکه ورودی فلوم بسته و اجازه داده می‌شد تا جریان به صورت تدریجی خارج و بستر فلوم زهکشی شود. پس از زهکشی شدن بستر، توپوگرافی بستر شکل گرفته با استفاده از متر لیزری مدل (BOSH-GLM 30) با دقت  $\pm 1$  میلی‌متر برداشت شد و در نهایت توپوگرافی بستر به وسیله نرم‌افزار Tecplot ترسیم شد.

عمق آب به گونه‌ای انتخاب شد که بالاترین تراز تاج سازه (که چسبیده به ساحل بیرونی بود) و تراز آب، یکسان و سازه‌ها به حالت مستغرق است. در همه آزمایش‌ها تک‌آشکن در موقعیت بیشترین عمق آبستگي قوس  $90^\circ$  درجه ملایم یعنی زاویه  $72^\circ$  درجه نصب شد و مدت زمان انجام هر آزمایش سه ساعت در نظر گرفته شد (۲). نحوه انجام هر آزمایش بدین گونه بود که پس از تسطیح بستر، درحالی‌که دریچه کشویی انتهای فلوم کاملاً بسته بود، شیرفلکه ورودی با دبی کمتر از  $0.5$  لیتر بر ثانیه باز شد و جریان به آرامی وارد فلوم شد، به گونه‌ای که تغییری در توپوگرافی بستر ایجاد نشود. نحوه انجام هر آزمایش بدین گونه بود که پس از تسطیح بستر، درحالی‌که دریچه کشویی انتهای فلوم کاملاً بسته بود، شیرفلکه ورودی با دبی کمتر از  $0.5$  لیتر بر ثانیه

## نتایج و بحث

### فرآیند آبستگي و رسوبگذاري

ردیابی مواد رنگی و استفاده از خاک اره در حین آزمایش‌های بدون شکاف نشان داد که به‌طور کلی با نزدیک شدن جریان به آبشکن مثلثی، بخش پائینی لایه‌های جریان که سرعت کمتری دارند با عبور از لبه مثلثی آبشکن به سمت قوس خارجی هدایت می‌شوند ولی لایه‌های بالایی جریان توسط آبشکن به میانه فلوم منحرف می‌شوند. همچنین جریان رو به پائینی در فواصل دورتر از دماغه آبشکن و بالادست آبشکن شکل می‌گیرد. در اثر این الگوها آبستگي اطراف دماغه آبشکن آبستگي به‌وجود می‌آید و بخشی از مواد فرسایش یافته در پشت صفحه نزدیک دیواره فلوم ترسیب می‌شود. تحقیقات بهرامی یاراحمدی و شفافی بجستان نیز وجود جریان ثانویه پاد ساعتگرد در پایین دست آبشکن را نشان می‌دهد (۱۱). با ایجاد شکاف در بدنه آبشکن، بخشی از جریان از درون شکاف عبور می‌کند و احتمالاً باعث تضعیف قدرت الگوهایی که عامل آبستگي هستند، می‌شود. تحقیقات کومار در خصوص تأثیر شکاف نیز نشان داد که شکاف نزدیک سطح آب باعث کاهش قدرت جریان رو به پائین می‌شود (۱۵). به‌منظور بررسی کمی تغییرات حفره آبستگي و نیز وضعیت رسوبگذاري اطراف آبشکن مثلثی، نتایج اندازه‌گیری شده ارتفاع بستر در پایان آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار Tecplot رسم شد که نتایج در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۳) محور X و Y موقعیت قرارگیری نقاط برداشت شده در بستر ماسه‌ای و Z اعماق آبستگي و رسوبگذاري را نشان می‌دهد.

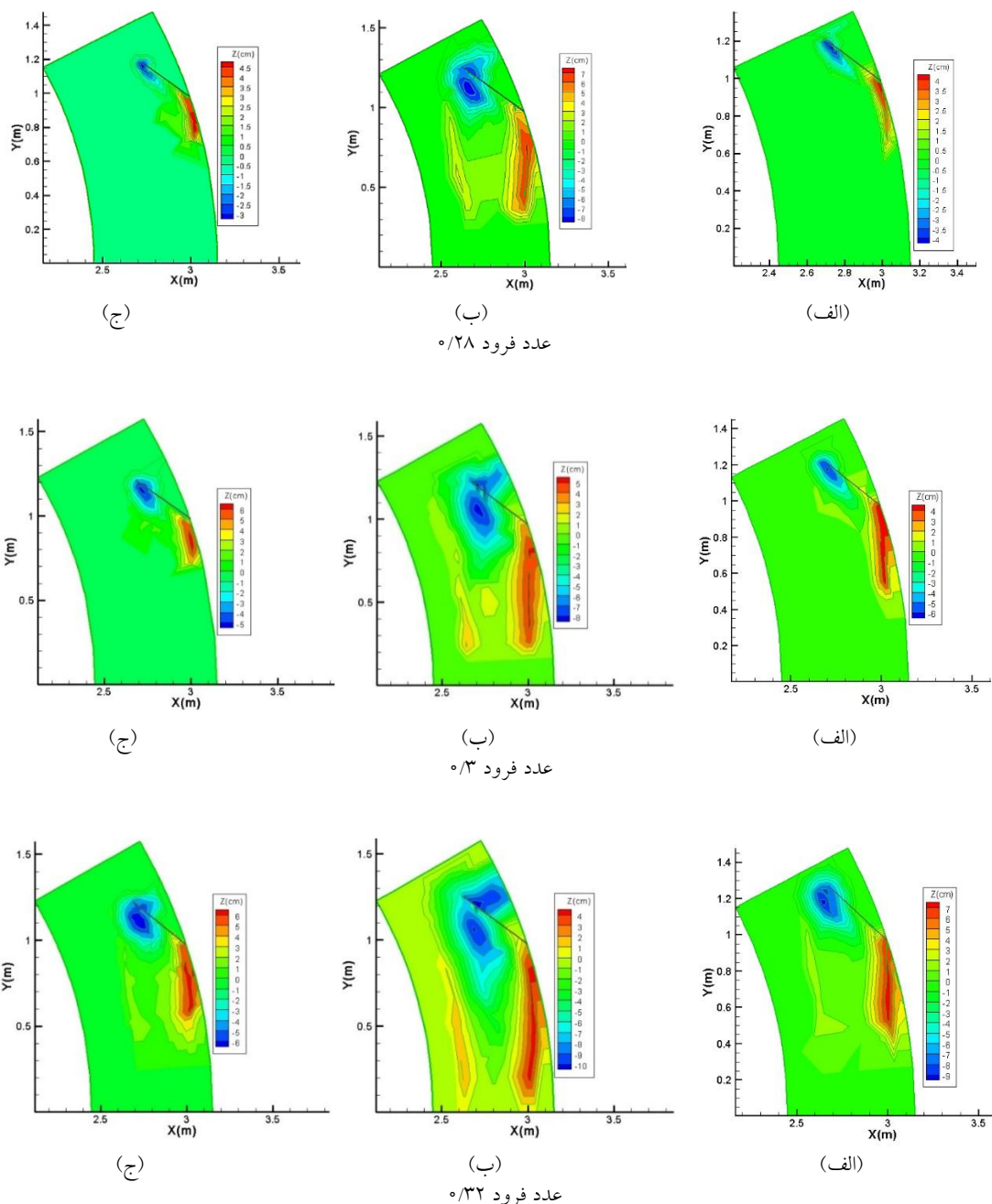
در قسمت Z علامت منفی مربوط به ارتفاع چاله آبستگي و علامت مثبت مربوط به ارتفاع رسوبگذاري است. شکل‌های ۳- الف، مربوط به آزمایش‌های شاهد (آبشکن بدون شکاف)، شکل ۳- ب مربوط به حالت شکاف در نزدیک بستر و شکل ۳- ج، مربوط به آزمایش‌هایی است که شکاف نزدیک به سطح آب بوده است. شکل (۴) تصویری از توپوگرافی ایجاد شده حول تک‌آبشکن را به عنوان نمونه در حالت شکاف نزدیک

بستر در پایان آزمایش نشان می‌دهد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود به‌طور کلی اطراف دماغه آبشکن حفره آبستگي شکل می‌گیرد که با افزایش عدد فرود و در نتیجه قدرت گردابه‌ها، ابعاد چاله نیز افزایش می‌یابد. در تمام این شکل‌ها پشته رسوبی ناشی از انتقال مواد فرسایش یافته نیز در پشت صفحه و نزدیک قوس خارجی مشاهده می‌شود. ابعاد این چاله، بستگی به ابعاد چاله فرسایشی دارد. شکل تپه رسوبی به‌صورت نواری است و با افزایش عدد فرود از دیواره قوس خارجی فاصله می‌گیرد. بهرامی یاراحمدی و شفافی بجستان نشان دادند که با دور شدن از آبشکن مثلثی جریان رودخانه‌ای در فاصله بین ساحل خارجی و تپه رسوبی عامل اصلی کشیده شدن تپه است و ابعاد این آبراهه به شرایط جریان و ابعاد هندسی آبشکن بستگی دارد (۱۱). نکته مهم دیگری که از این شکل‌ها می‌توان ملاحظه کرد، بزرگ‌تر شدن ابعاد چاله فرسایش و در نتیجه ابعاد تپه رسوبی در شرایط عدد فرود یکسان برای حالتی است که شکاف در نزدیک سطح آب قرار دارد، در چنین شرایطی ابعاد چاله آبستگي در بالادست آبشکن بزرگ‌تر شده و به سمت ساحل خارجی نیز کشیده خواهد شد.

### آبستگي موضعي

تجربیات گذشته نشان داده است که آبستگي موضعي اطراف سازه یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب سازه است. بنابراین تخمین عمق آبستگي بیشینه در طراحی سازه، همواره برای مهندسان طراح حائز اهمیت فراوان بوده است. نمودار شکل (۵) حداکثر عمق آبستگي موضعي اطراف دماغه سازه‌ها را در حالت‌های شکاف نزدیک بستر، نزدیک سطح آب و آزمایش‌های شاهد (آبشکن بدون شکاف) را در اعداد فرود مختلف نشان می‌دهد. محور عمودی، نسبت بی‌بعد حداکثر عمق آبستگي به عمق جریان ( $ds/Y$ ) و محور افقی عدد فرود جریان ( $Fr$ ) را نشان می‌دهد. نمودارهای شکل (۶) نیم‌رخ عرضی حداکثر عمق آبستگي موضعي را در دو حالت موقعیت شکاف نزدیک بستر و نزدیک سطح آب در



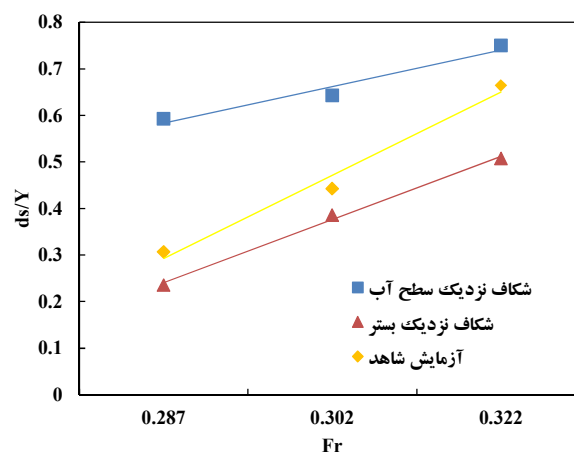
شکل ۳. توپوگرافی بستر حول صفحات: الف) آزمایش‌های شاهد، ب) شکاف نزدیک سطح آب و ج) شکاف نزدیک بستر به‌ازای اعداد فرود مختلف

اعداد فرود مختلف شکاف نزدیک بستر نسبت به شکاف نزدیک سطح آب و همچنین حالت شاهد عملکرد بهتری در کنترل آبستنگی موضعی داشته است و حداکثر عمق آبستنگی را نسبت به دو حالت دیگر کاهش داده است، همچنین با دقت در شکل (۵) مشاهده می‌شود که در هر سه حالت شکاف نزدیک بستر، سطح آب و همچنین حالت شاهد با افزایش عدد

مقایسه با حالت شاهد به ترتیب در اعداد فرود ۰/۲۸، ۰/۳ و ۰/۳۲ نشان می‌دهد. محور عمودی نسبت بی‌بعد ارتفاع آبستنگی و رسوب‌گذاری به عمق جریان ( $Z/Y$ ) و محور افقی نسبت بی‌بعد فاصله هر نقطه از ساحل خارجی نسبت به عرض فلوم ( $\lambda/B$ ) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود، در همه



شکل ۴. توپوگرافی ایجاد شده حول تک آبشکن در حالت شکاف نزدیک بستر

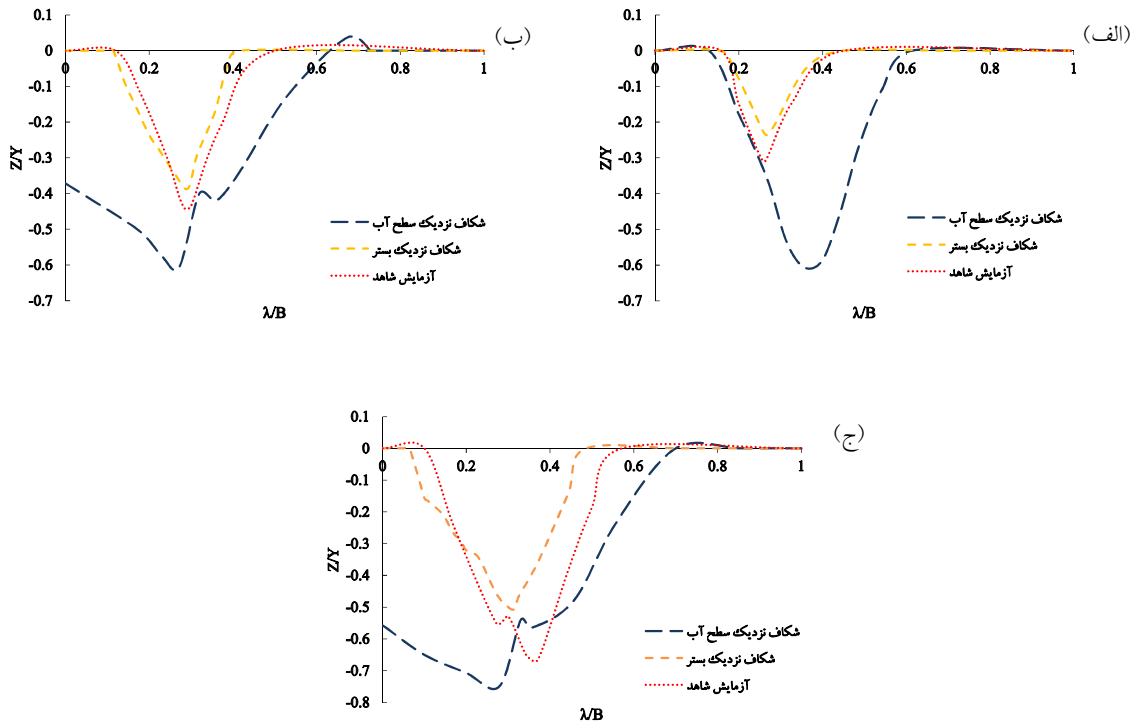


شکل ۵. حداکثر عمق آبشستگی موضعی اطراف دماغه سازه‌ها در دو حالت شکاف نزدیک بستر و نزدیک سطح آب در مقایسه با حالت شاهد اعداد فرود مختلف

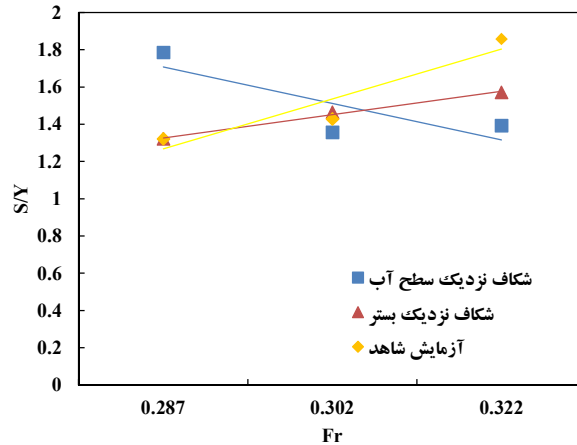
ساحل خارجی را در دو موقعیت شکاف نزدیک بستر و نزدیک سطح آب در مقایسه با حالت شاهد نشان می‌دهد. محور عمودی نسبت بی بعد فاصله حداکثر عمق آبشستگی از ساحل خارجی (S/Y) و محور افقی عدد فرود (Fr) را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در حالت شکاف نزدیک بستر و حالت شاهد، با افزایش عدد فرود فاصله حداکثر عمق آبشستگی از ساحل خارجی افزایش پیدا کرد ولی در حالتی که شکاف نزدیک سطح آب قرار داشت،

فرود و با توجه به افزایش قدرت گرداب‌های اطراف سازه، حداکثر عمق آبشستگی موضعی افزایش پیدا کرد. بهرامی یاراحمدی و شفافی بجستان نشان داده بودند که در حالت شاهد با افزایش عدد فرود حداکثر عمق آبشستگی موضعی افزایش پیدا کرده است (۱۱). فاصله حداکثر عمق آبشستگی از ساحل بیرونی به جهت پایداری ساحل خارجی حائز اهمیت است. نمودار شکل (۷) فاصله حداکثر عمق آبشستگی موضعی از





شکل ۶. نیم‌رخ عرضی حداکثر عمق آبشستگی موضعی در دو حالت موقعیت شکاف نزدیک بستر و نزدیک سطح آب و آزمایش شاهد: (الف) عدد فرود ۰/۲۸، (ب) عدد فرود ۰/۳ و (ج) عدد فرود ۰/۳۲



شکل ۷. فاصله حداکثر عمق آبشستگی موضعی از ساحل خارجی در دو موقعیت شکاف نزدیک بستر و نزدیک سطح آب و حالت آزمایش شاهد در اعداد فرود مختلف

شاهد را در دور کردن حداکثر عمق آبشستگی از ساحل خارجی نشان می‌دهد. با دقت در نمودارهای شکل (۶) مشاهده می‌شود که در حالت شکاف نزدیک بستر و حالت شاهد، خارجی ادامه پیدا نکرد و ساحل خارجی از تخریب مصون ماند

با افزایش عدد فرود حداکثر عمق آبشستگی به ساحل به ساحل خارجی نزدیک‌تر شد. این نتیجه عملکرد بد شکاف نزدیک سطح آب را نسبت به شکاف نزدیک بستر و حالت پیشروی آبشستگی موضعی حول دماغه صفحات تا ساحل

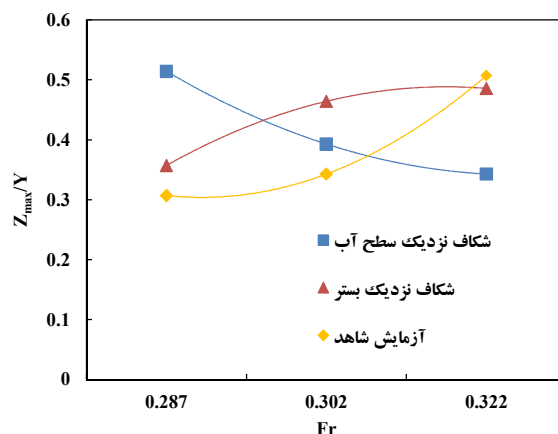


شده است. نمودار شکل (۸) حداکثر ارتفاع پشته‌گذاری را در دو موقعیت شکاف نزدیک سطح آب و نزدیک بستر در مقایسه با آزمایش‌های شاهد در اعداد فرود مختلف نشان می‌دهد. محور عمودی نسبت بی‌بعد حداکثر ارتفاع پشته ترسیب یافته  $(Z_{max}/Y)$  و محور افقی عدد فرود  $(Fr)$  را نشان می‌دهد. با دقت در شکل ۸ مشاهده می‌شود که رفتار متفاوتی از دو موقعیت شکاف در رابطه با پشته ترسیب یافته با افزایش عدد فرود به وجود آمد. درحالی‌که شکاف در موقعیت نزدیک بستر و همچنین حالت آزمایش شاهد قرار داشت، با افزایش عدد فرود، میزان بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری افزایش یافت ولی درحالی‌که موقعیت شکاف نزدیک سطح آب قرار داشت، همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود، میزان بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری کاهش یافت. مشاهدات بصری با تزریق ماده رنگی و استفاده از خاک اره و همچنین تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد، درحالی‌که شکاف نزدیک سطح آب قرار داشت، با افزایش عدد فرود میزان جریان بیشتری از درون شکاف به سمت پایین دست صفحه منحرف می‌شود و این انحراف جریان باعث کاهش بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری و همچنین باعث پخش شدن رسوبات شسته شده در کف بستر شد. برای بررسی رابطه بین پشته ترسیبی در پشت سازه و آبشستگی موضعی حول دماغه سازه در دو حالت شکاف نزدیک بستر و شکاف نزدیک سطح آب در مقایسه با حالت آزمایش شاهد، شکل (۹) رسم شد. محور عمودی نسبت بی‌بعد حداکثر ارتفاع پشته‌گذاری به حداکثر عمق آبشستگی موضعی  $(Z_{max}/ds)$  و محور افقی عدد فرود جریان  $(Fr)$  را در دو حالت شکاف نزدیک بستر، شکاف نزدیک سطح آب و حالت آزمایش شاهد را نشان می‌دهد. یک شکاف با موقعیت مناسب باید علاوه بر اینکه باعث کاهش آبشستگی موضعی حول دماغه آبشکن باید شود، به همان میزان نیز باید پشته مناسبی از خود به جای بگذارد و باعث پرشدن چاله فرسایشی نزدیک به ساحل خارجی شود و یک حالت تعادل بین آبشستگی و رسوب‌گذاری ایجاد کند.

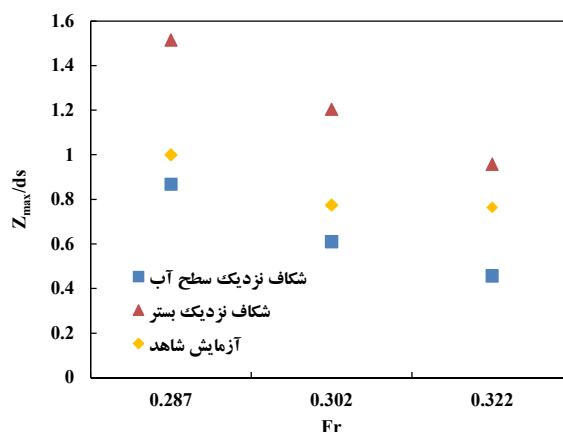
ولی درحالی‌که موقعیت شکاف نزدیک سطح آب قرار داشت، در اعداد فرود  $0/3$  و  $0/32$  آبشستگی حول دماغه صفحات به ساحل خارجی رسید و بخشی از ساحل خارجی را تخریب کرد. این رخداد با وظیفه صفحات متصل به ساحل که حفاظت از ساحل خارجی را بر عهده دارند، منافات دارد و عملکرد نامناسب شکاف نزدیک سطح آب را نشان می‌دهد. با توجه به توضیحات بالا می‌توان نتیجه گرفت که هرچه شکاف به بستر نزدیک‌تر است، اثربخشی شکاف در کنترل آبشستگی موضعی بیشتر است که این موضوع با نتایج چیو (۱۳)، کومار (۱۵)، عبدالله پور و همکاران (۸) و حیدرنازاد و همکاران (۱۴) مطابقت دارد. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی موضعی در حالت شکاف نزدیک بستر در اعداد فرود  $0/28$ ،  $0/3$  و  $0/32$  نسبت به شکاف نزدیک سطح آب به ترتیب برابر است با ۶۰ درصد، ۴۰ درصد و ۳۲ درصد و نسبت به حالت شاهد ۲۳ درصد، ۱۳ درصد و ۲۴ درصد کاهش پیدا کرد.

#### رسوبات ترسیب یافته

در بحث سامان‌دهی رودخانه‌ها در قوس‌ها، علاوه بر کنترل فرسایش ساحل بیرونی با استفاده از سازه‌های اصلاح‌کننده الگوی جریان و انتقال چاله فرسایشی از ساحل بیرونی به طرف مرکز رودخانه، پر کردن چاله فرسایشی ساحل بیرونی و ساحل‌سازی (ایجاد ساحل جدید) در ساحل بیرونی رودخانه‌ها بسیار حائز اهمیت است (۴). رسوبات شسته شده توسط جریان پادساعت‌گرد ایجاد شده پشت صفحات نزدیک به ساحل خارجی ترسیب یافتند. بررسی‌ها نشان داد، با توجه به اینکه درحالی‌که موقعیت شکاف نزدیک سطح آب قرار داشت، حجم رسوبات شسته شده بیشتر از حالت شکاف نزدیک بستر و حالت شاهد به دست آمد، در نتیجه حجم رسوبات درحالی‌که موقعیت شکاف نزدیک سطح آب قرار داشت، بیشتر از شکاف نزدیک بستر و حالت شاهد بوده است، می‌توان نتیجه گرفت که حجم رسوبات ترسیب یافته متناسب با حجم رسوبات شسته



شکل ۸. حداکثر ارتفاع پشته‌گذاری را در دو موقعیت شکاف نزدیک سطح آب و نزدیک بستر و آزمایش شاهد به ازای اعداد فرود مختلف



شکل ۹. نسبت بی‌بعد حداکثر ارتفاع پشته‌گذاری نسبت به حداکثر عمق آبشستگی موضعی در حالت‌های شکاف نزدیک سطح آب و نزدیک بستر و آزمایش شاهد به ازای اعداد فرود مختلف

به موازات وتر در تک‌آشکن مثلثی در دو موقعیت یکی نزدیک به بستر (نزدیک به دماغه صفحه) و دیگری نزدیک به سطح آب (دور از دماغه صفحه) بر الگوی فرسایش و رسوب اطراف دماغه آشکن مثلثی در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نتایج با آشکن بدون شکاف (آزمایش‌های شاهد) مقایسه شد و نتایج زیر به دست آمد:

در همه اعداد فرود مختلف شکاف نزدیک بستر نسبت به شکاف نزدیک سطح آب و همچنین حالت شاهد عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی موضعی داشته است و حداکثر عمق آبشستگی را نسبت به دو حالت دیگر کاهش داده است. درصد

با دقت در شکل (۹) مشاهده می‌شود، شکاف نزدیک بستر در همه اعداد فرود نسبت به آزمایش شاهد و حالت شکاف نزدیک سطح آب، عملکرد مناسب‌تری در ایجاد تعادل بین ارتفاع رسوب‌گذاری و آبشستگی موضعی داشته است و علاوه بر کاهش حداکثر عمق آبشستگی موضعی، بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری مناسبی نیز نسبت به حالت آزمایش شاهد و شکاف نزدیک سطح آب داشته است.

## نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر تأثیر استفاده از دو مدل شکاف مستطیلی

از دو موقعیت شکاف در رابطه با پشته ترسیب یافته با افزایش عدد فرود به وجود آمد. به طوری که در حالت شکاف نزدیک بستر و همچنین حالت آزمایش شاهد، با افزایش عدد فرود میزان بیشه ارتفاع پشته گذاری افزایش یافت ولی درحالی که موقعیت شکاف نزدیک سطح آب قرار داشت، با افزایش عدد فرود، میزان بیشه ارتفاع پشته گذاری کاهش یافت.

شکاف نزدیک بستر در همه اعداد فرود نسبت به آزمایش شاهد و حالت شکاف نزدیک سطح آب عملکرد مناسب تری در ایجاد تعادل بین ارتفاع رسوب گذاری و آبشستگی موضعی داشته است و علاوه بر کاهش حداکثر عمق آبشستگی موضعی، بیشه ارتفاع پشته گذاری مناسبی نیز نسبت به حالت آزمایش شاهد و شکاف نزدیک سطح آب داشته است.

### سپاسگزاری

هزینه این طرح تحقیقاتی از محل پژوهانه نویسنده دوم تأمین شده است و بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه تقدیر و تشکر می شود.

کاهش (درصد بهبود) حداکثر عمق آبشستگی موضعی در اعداد فرود ۰/۲۸، ۰/۳ و ۰/۳۲ نسبت به شکاف نزدیک سطح آب به ترتیب برابر است با ۶۰ درصد، ۴۰ درصد و ۳۲ درصد و نسبت به حالت شاهد ۲۳ درصد، ۱۳ درصد و ۲۴ درصد به دست آمد.

در حالت شکاف نزدیک بستر و حالت شاهد، با افزایش عدد فرود فاصله حداکثر عمق آبشستگی از ساحل خارجی افزایش پیدا کرد ولی درحالی که شکاف نزدیک سطح آب قرار داشت، با افزایش عدد فرود حداکثر عمق آبشستگی به ساحل خارجی نزدیک تر شد. همچنین درحالی که موقعیت شکاف نزدیک بستر و همچنین حالت شاهد، آبشستگی موضعی حول دماغه صفحات به ساحل نرسید و ساحل خارجی از تخریب مصون ماند ولی درحالی که موقعیت شکاف نزدیک سطح آب قرار داشت، در اعداد فرود ۰/۳ و ۰/۳۲ آبشستگی حول دماغه صفحات به ساحل خارجی رسید و بخشی از ساحل خارجی را تخریب کرد.

حجم رسوبات ترسیب یافته متناسب با حجم رسوبات شسته شده است، همچنین بررسی ها نشان داد که رفتار متفاوتی

### منابع مورد استفاده

۱. آقاخان افشار، ح. ۱۳۸۹. بررسی اثر هندسه شکاف پایه پل و پایه های مجاور بر کاهش آبشستگی موضعی. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد. مشهد. ایران.
۲. بهرامی یاراحمدی، م. و م. شفافی بجستان. ۱۳۹۳. تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ملایم ۹۰ درجه با نصب آبشکن مثلثی شکل. مجله علمی پژوهشی عمران مدرس ۱۴(۳): ۲۰۳-۱۶۵.
۳. بهرامی یاراحمدی، م.، شفافی بجستان، م. و س. ح. موسوی جهرمی. ۱۳۹۲. مقایسه عملکرد سازه های اصلاح کننده الگوی جریان در قوس ها، مجموعه مقالات همایش بین المللی مهندسی عمران معماری و سازه های شهری، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ایران.
۴. بهرامی یاراحمدی، م. و م. شفافی بجستان. ۱۳۹۴. تأثیر سری صفحات مثلثی در قوس ملایم ۹۰ درجه بر الگوی توپوگرافی بستر. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست (۳) ۴۵: ۱-۱۴.
۵. حسینی، م. س. ۱۳۹۳. تأثیر موقعیت شکاف در کاهش آبشستگی صفحه مثلثی مستغرق متصل به ساحل. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز، ایران.
۶. حیدر پور، م. ح. افضلی مهر و ز. خدارحمی. ۱۳۸۹. حفاظت گروه پایه های استوانه ای پل در برابر آبشستگی موضعی با استفاده از شکاف. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۴(۳): ۲۲-۱۰.

۷. حیدرپور، م.، ح. افضل‌ی مهر و م. نادری. ۱۳۸۲. کنترل و کاهش آبشستگی موضعی در پایه‌های پل با مقاطع مستطیلی گرد گوشه با استفاده از شکاف. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی* ۷(۳): ۱۷-۱۳.
۸. عبدالله پور، م.، ع. حسین زاده دلیر، ن. حسن پور و پ. خسروی‌نیا. ۱۳۹۲. اثر شکاف در کاهش آبشستگی آبشکن با دیواره عمودی. *نشریه دانش آب و خاک* ۲۳(۳): ۲۰۶-۱۹۳.
۹. کاردان، ن.، ی. حسن‌زاده و ح. حکیم‌زاده. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی پارامترهای هیدرودینامیکی اطراف پایه استوانه‌ای با استفاده از مدل‌های آشفتگی مختلف، *مجله علوم و مهندسی آبیاری (مجله علوم کشاورزی)* ۴(۳۷): ۵۴-۳۹.
۱۰. نوری‌فر، م.، م. فغور مغربی و ی. حسن‌زاده. ۱۳۸۹. مقایسه عددی کاهش آبشستگی موضعی اطراف پایه پل شکافدار و در پایه پل مجزا. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
11. Bahrami Yarahmadi, M. and M. Shafai-Bajestan. 2015. Sediment management and flow patterns in river bend due to triangular vanes attached to the bank. *Journal Hydro-Environment Research* 10(2016): 64-75
12. Bhuiyan, F., R. D. Hey 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.
13. Chiew, Y. M. 1992. Scour protection at bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 118(9): 1260-1269.
14. Heidarnejad, M., M. Shafai Bajestan and A. Masjedi. 2010. The effect of slots on scouring around piers in different positions of 180-degree bends. *World Applied Sciences Journal* 8(7): 892-899
15. Kumar, V., K. G. Rango Raju and N. Vittal. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and Collars. *Journal of Hydraulic Engineering* 125(12): 1302-1305.
16. Radspinner, R. R., P. Diplas, A. F. Lightbody and F. Sotiropoulos. 2010. Rivertraining and ecological enhancement potential using in-stream structures. *Journal of Hydraulic Engineering* 136 (12): 967-980.

## The Effect of Slot's Distance of Triangular Spur Dike's Nose on the Pattern of Erosion and Sediment

M. Dorosti\*, M. Shafai Bejestan and F. Amirsalari Maymani<sup>1</sup>

(Received: December 17-2016 ; Accepted: June 14-2017)

### Abstract

Scour around structures in the river is the most destructive factor of these structures. Therefore, different methods have been studied to reduce it. A creation slot is one of these methods in the suitable position that can be modified to control the flow pattern scour. In this study, the effects of using two parallel chord rectangular slots in the single spur dike with the opening of the effective spur dike area of 10% and a ratio of  $a/b = 4$  (a and b are the length and width of the slot) on two occasions were investigated, one near the bed (near the slot spur dike) and the other near the water surface (away from the nose of spur dike) on the pattern of erosion and sediment around the nose triangular spur dike in clear water conditions. In all experiments, flow depth and angle of the triangular spur dike installation angle were constant. The experiment was done in different hydraulic conditions (Froude number 0.287, 0.304, 0.322). Eventually the results of spur dike without slot (control experiments) were compared. The results showed the slot near the bed toward the slot near water surface and control experiments had a better performance in reducing the maximum depth of scour and deposition of sediments washed to the outer bank. The reduction of the maximum depth of scour at the slot near the bed in Froude numbers 0.287, 0.302 and 0.322, respectively, was compared to the control experiments, which were 23%, 13% and 24%, respectively, and then compared to the slot near the water surface, which was 60%, 40% and 32% respectively.

**Keywords:** Slot position, Triangular spur dike, Bank protection, Pattern of erosion and sediment

---

1. Department of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: mohsendrosti@yahoo.com