تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۵، بهمن و اسفند ۱۳۹۶ (ص ۹۶۱-۹۵۱) DOI: 10.22059/ijswr.2017.127498.667256

اثر شکاف بر توپوگرافی بستر حول صفحه مثلثی متصل به ساحل در قوس ۹۰ درجه

فرشید امیرسالاری میمنی[۱]، احمد فتحی[۲*]، محمد محمودیان شوشتری[۳]

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

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

۳. استاد، بازنشسته گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۲۱ – تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۴/۳ – تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۳/۱۶)

چکیده

آبشکن‌ها اگرچه توانسته‌اند در حفاظت از قوس رودخانه‌ها عملکرد مناسبی داشته باشند، اما از روند آبشستگی موضعی حول دماغه مصون نیستند. تحقیقات اخیر نشان داده است که صفحات مثلثی متصل به ساحل به‌دلیل شکل هندسی سازه، نسبت به آبشکن‌ها آبشستگی کمتری در دماغه ایجاد می‌کنند. ایجاد شکاف در سازه یکی از راه‌کارهای مهندسان در اصلاح الگوی جریان اطراف سازه می‌باشد. به‌منظور دست‌یابی به اهداف تحقیق حاضر شکافی مستطیلی با درصد بازشدگی برابر با ۱۰ درصد سطح مؤثر صفحه و در موقعیت موازی با وتر، در صفحه‌ی مثلثی متصل به ساحل ایجاد شده است. سپس در زوایا و شرایط هیدرولیکی متفاوت (۰/۲۸۷، ۰/۳۰۴ و ۰/۳۲۲) اثر شکاف بر توپوگرافی بستر بررسی شده است. نتایج نشان داد متوسط درصد کاهش بیشینه عمق آبشستگی توسط شکاف ایجاد شده در زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه به ترتیب ۷۰، ۲۰، ۱۷و ۵۴ درصد بوده است. همچنین شکاف باعث دور کردن چاله‌ی آبشستگی از ساحل بیرونی شده است. با افزایش عدد فرود جریان، بیشینه عمق آبشستگی در صفحات شاهد و شکاف دار، افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: قوس رودخانه، صفحه متصل به ساحل، شکاف، بیشینه عمق آبشستگی

مقدمه

قوس رودخانه به دلیل تنش برشی ناشی از جریان، دچار فرسایش می‌گردد. آبشکن‌های رودخانه‌ای، از سازه‌های مهم ساماندهی رودخانه به‌شمار می‌آیند. آبشکن‌ها سازه‌های متقاطع یا عرضی هستند که از دیواره‌ی رودخانه به سمت محور جریان توسعه یافته و سبب انحراف و هدایت جریان از کناره‌ها به سمت محور مرکزی راستای رودخانه می‌گردند. این سازه به‌صورت منفرد یا به‌صورت یک سری متوالی، در یک و یا در دو سمت رودخانه احداث می‌گردند (Anon, 2008). از پیامدهای منفی احداث آبشکن‌ها ایجاد آبشستگی موضعی[۱] حول دماغه‌ی سازه می‌باشد که سبب ناپایداری و سرانجام تخریب سازه خواهد شد. آبشستگی موضعی مستقیماً ناشی از اثر سازه بر الگوی جریان است و تابعی از نوع سازه می‌باشد. حفاظت از آبشکن‌ها به دو طریق صورت می‌پذیرد، یکی مقاوم‌سازی بستر به‌منظور بالا بردن مقاومت آن در برابر تنش برشی ناشی از جریان و دیگری اصلاح الگوی جریان جهت تغییر الگوی جریان و کاهش شدت گرداب‌های ایجاد شده در اطراف سازه. از گذشته تاکنون روش‌های گوناگونی به‌منظور اصلاح الگوی جریان اطراف سازه به‌کار گرفته شده است. ازجمله‌ی این روش‌ها ایجاد شکاف[۲] در سازه می‌باشد. ایده‌ی استفاده از شکاف برای اولین بار توسط Chiew (1992) ارائه و در پایه‌های پل[۳] استفاده گردید. کاربرد اصلی شکاف، منحرف کردن جریان پایین‌رونده در وجه بالادست سازه و جریان‌های کناری در اطراف سازه می‌باشد. در زمینه‌ی بررسی نقش شکاف در کاهش آبشستگی پایه‌های پل تحقیقات زیادی توسط محققان صورت پذیرفته است.

Chiew (1992) با ایجاد شکاف در پایه‌ی پل به بررسی پارامترهایی همچون عرض، طول و موقعیت شکاف (در دو موقعیت نزدیک بستر و سطح آب) پرداخت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین کاهش عمق آبشستگی توسط شکاف نزدیک بستر با عرض 0.25D (D بیان‌گر قطر پایه‌ی پل) و طولی بزرگ‌تر از 2D می‌باشد؛ و همچنین عملکرد شکاف در کاهش عمق آبشستگی با افزایش طول و عرض شکاف، افزایش می‌یابد. Kumar (1996) بیان می‌کند که شکاف نزدیک بستر با ایجاد جت جریان افقی،

* نویسنده مسئول : fathiahmad2000@yahoo.com

1. Local scour

2 .Slot

3 .Bridge Pier

Archive of SID

www.SID.ir

جریان پایین‌رونده را به فاصله‌ی دورتری از سازه منحرف می‌کند و بدین ترتیب باعث کاهش گرادیان فشار و در نتیجه کاهش عمق آبشستگی می‌شود. تحقیقاتی نیز توسط Kumar *et al.* (1999)، Heidarpoor *et al.* (2001)، Heidarnejad *et al.* (2001)، Aghakhanei Afshar *et al.* (2010) و Khodabakhshi *et al.* (2012)، صورت پذیرفت که نتایج حاکی از نقش مؤثر شکاف در کاهش عمق آبشستگی موضعی حول پایه‌ی پل بوده و همچنین نشان می‌دهد که شکاف‌های با طول بیشتری که از سطح بستر شروع می‌شوند عملکرد بهتری در کاهش عمق آبشستگی داشته است. Christensen (2009) تأثیر شکاف مستطیلی بر پایه‌ی پل دوکی‌شکل را مورد بررسی قرار داد و دریافت که ایجاد شکاف فرسایش بستر را تا ۲۸ درصد کاهش می‌دهد. نتایج تحقیقات Pir Mohammadi (2004) در بررسی اثر شکاف بر پایداری سنگ‌چین دور پایه‌ی پل نشان می‌دهد که وجود شکاف نزدیک بستر، پایداری سنگ‌چین را افزایش می‌دهد. Kardan (2015) در بررسی عددی عملکرد جفت شکاف بر تنش برشی بستر پیرامون پایه بیان می‌دارد که ایجاد شکاف در پایه‌ها، از قدرت مخرب گردابه‌های پشت پایه می‌کاهد. Moncada *et al.* (2009) به بررسی عملکرد طوق[1] و شکاف در کنترل آبشستگی در پایه‌های استوانه‌ای پرداختند. آزمایش‌های ایشان نشان داد با افزایش طول شکاف از سطح آب به روی بستر و تأثیر هم‌زمان طوق و شکاف، مقدار عمق آبشستگی به میزان ۴۸ تا ۸۵ درصد کاهش خواهد یافت. Izadi Niya *et al.* (2007) و Soltani *et al.* (2009) با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی تأثیر شکاف را بر روی عمق آبشستگی در گروه پایه‌های پل مستطیلی نوک‌گرد بررسی کرده و دریافتند که با افزایش فاصله‌ی بین پایه‌ها عملکرد شکاف در پایه‌ی عقبی افزایش یافت. تحقیقات بسیار اندکی هم در راستای بررسی اثر شکاف در آبشکن‌ها توسط محققان صورت پذیرفته است. در این راستا Abdolahpour *et al.* (2012) در تحقیقی با تغییر ارتفاع، عمق، عرض شکاف و نیز فاصله‌ی شکاف از دماغه، به بررسی ابعاد حفره‌ی آبشستگی در آبشکن با دیواره‌ی عمودی پرداخته‌اند. نتایج آزمایش‌های ایشان نشان داد که مدل‌های دارای ارتفاع شکاف تا زیر بستر، عمق شکاف معادل عرض آبشکن و نزدیک دیواره و عرض شکاف‌های بیشتر عملکرد بهتری در کاهش عمق و ابعاد حفره‌ی آبشستگی دارند. Hosseini and Fathi (2015) نیز در مطالعه‌ی موقعیت شکاف در سری صفحات مثلثی مستغرق متصل به ساحل در مسیر مستقیم، اقدام به تعبیه‌ی شکاف‌هایی به طول ۱۱، ۱۹ و ۲۷ سانتی‌متر و فاصله‌ی شکاف از دماغه ۱/۵، ۲/۵ و ۳ سانتی‌متر، کرده و دریافتند که هرچه طول شکاف نسبت به تراز بستر و فاصله‌ی شکاف از دماغه‌ی صفحه بیشتر باشد عمق آبشستگی بیشتر کاهش می‌یابد. بدین معنی که صفحات با طول شکاف برابر با ۲۷ سانتی‌متر و فاصله‌ی شکاف برابر با ۳ سانتی‌متر از دماغه‌ی صفحه، نسبت به بقیه‌ی صفحات عملکرد بهتری داشتند.

با توجه به مطالعات اندک صورت گرفته در زمینه‌ی بررسی اثر شکاف در آبشکن‌ها و کم بودن اطلاعات در این زمینه، در این تحقیق شکافی با ابعاد مشخص در تک صفحه‌ی مثلثی متصل به ساحل ایجاد کرده و با برداشت توپوگرافی بستر حول صفحات شکاف‌دار و مقایسه با صفحات شاهد (بدون شکاف) اقدام به بررسی نقش شکاف بر توپوگرافی بستر حول صفحه‌ی مثلثی متصل به ساحل تحت زوایای مختلف در قوس ۹۰ درجه شده است. لازم به ذکر است که صفحه مستغرق مثلثی سازه‌ای زیست‌محیطی و اصلاح‌شده ازلحاظ شکل هندسی می‌باشد که قادر به انحراف جریان از دیواره رودخانه به سمت میانه (با آبشستگی کمتر نسبت به بقیه آبشکن‌ها) می‌باشد و بدین ترتیب باعث حفاظت دیواره رودخانه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

مجموعه آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز صورت پذیرفت. فلوم مورداستفاده در این تحقیق دارای یک قوس ۹۰ درجه‌ی ملایم به شعاع ۳ متر و عرض ۰/۷ متر می‌باشد که بستر آن با رسوبات یکنواخت (D_{50}=1.5(mm) و σ=1.22 (ضریب انحراف معیار هندسی) و با عمق ۲۰ سانتی‌متر از کف فلوم پوشانده شده است. مسیر مستقیم ورودی فلوم ۵ متر، مسیر مستقیم خروجی ۳ متر و شیب طولی کف فلوم نزدیک به صفر می‌باشد. از شیر ورودی تعبیه‌شده در بالای فلوم جهت تأمین آب مخزن و برای تنظیم تراز سطح آب از دریچه‌ی کشویی تعبیه‌شده در انتهای فلوم استفاده شده است. اندازه‌گیری دبی جریان به‌وسیله دبی‌سنج اولتراسونیک (Flow Ultrasonic meter با دقت ±۱ میزان قرائت‌شده) تعبیه‌شده بر روی شیر ورودی فلوم صورت پذیرفته است.

صفحه‌ی مثلثی استفاده‌شده، از جنس پلکسی‌گلاس و با ضخامت ۴ میلی‌متر می‌باشد. شکاف ایجاد شده در صفحه، شکافی مستطیلی با درصد بازشدگی برابر با ۱۰ درصد سطح مؤثر صفحه (سطحی از صفحه که در تماس مستقیم با جریان می‌باشد)، نسبت طول به عرض شکاف برابر با ۴ ($\frac{b}{a}=4$) و

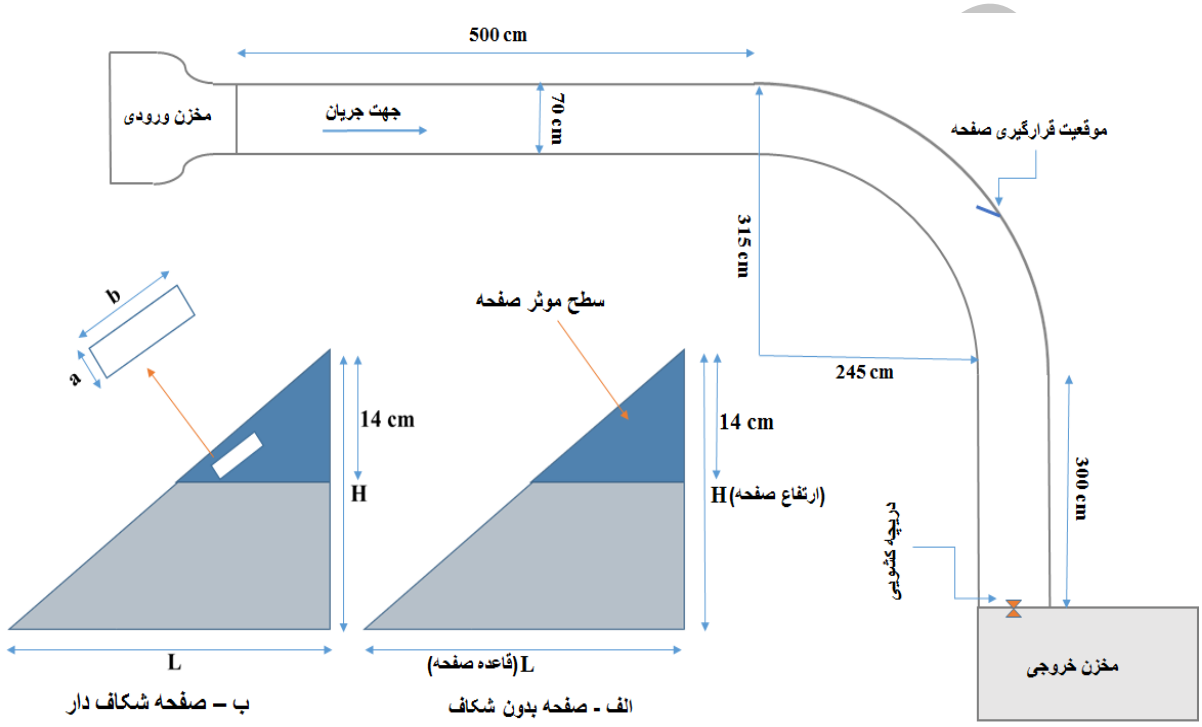
1. collar

Archive of SID

www.SID.ir

ازلحاظ موقعیت قرارگیری در صفحه، شکاف ایجاد شده، موازی با وتر صفحه‌ی مثلثی می‌باشد. (شکل ۱- نمایی از صفحه بدون شکاف و صفحه با شکاف). جهت دست‌یابی به اهداف تحقیق تک صفحه‌ی مثلثی در زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه و در دو حالت با و بدون شکاف، در موقعیت حداکثر (ازلحاظ ایجاد بیشینه آبشستگی دیواره) یعنی موقعیت ۷۲ درجه از قوس فلوم به دیواره‌ی فلوم متصل شده است (Bahrami Yarahmadi and Shafaei Bajestan, 2014). آزمایش‌ها در سه عدد فرود ۰/۲۸۷، ۰/۳۰۴ و ۰/۳۲۲ در شرایط آب زلال[1] صورت پذیرفت. تحقیق حاضر در مجموع شامل ۲۴ مرحله آزمایش بوده است. جدول (۱) آزمایشات صورت گرفته در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. جهت یکسان بودن میزان تنگ‌شدگی صفحات در زوایای متفاوت، طول مؤثر (فاصله‌ی نوک دماغه‌ی صفحه تا ساحل بیرونی) رعایت شده در آزمایش‌ها برابر با مقدار ثابت ۱۴ سانتی‌متر یعنی ۲۰ درصد عرض فلوم در نظر گرفته شده است (Bahrami Yarahmadi and Shafaei Bajestan, 2014).

1 Clear Water



شکل ۱- نمای افقی از پلان فلوم و صفحات مورداستفاده در آزمایش‌ها

شکل ۲- نمایی از صفحه شاهد ۳۰ درجه در موقعیت ۷۲ درجه از قوس فلوم

www.SID.ir

عمق آب در آزمایش‌ها برابر با ۱۴ سانتی‌متر (ثابت) و تراز بالایی سازه همواره مماس با سطح آب بوده است به‌گونه‌ای که صفحه در طی آزمایش کاملاً مستغرق بوده است. با توجه به هدف تحقیق که مقایسه تغییرات توپوگرافی بستر در زوایا و شرایط هیدرولیکی متفاوت است و نه استخراج معادله‌ای برای بیشینه عمق آبشستگی، زمان متوسط هر آزمایش را ۳ ساعت در نظر گرفته (Johnson *et al*. 2001) و پس از اتمام هر آزمایش فلوم به مدت یک ساعت توسط شیر تعبیه‌شده در کف فلوم، زهکشی شده است. پس از اتمام زهکشی و ثابت شدن فرم تغییرات بستر، برداشت توپوگرافی حول صفحات از طریق یک دستگاه متر لیزری (مدل Bosh GLM 30 با دقت ±۱ میلی‌متر) صورت گرفته است. سطح بستر رسوبات پس از انجام هر آزمایش توسط ارابه تسطیح کننده جهت آزمایش‌های بعدی تسطیح گردیده است.

جدول ۱- لیست آزمایش‌های صورت گرفته در تحقیق حاضر

ردیف	حالت	نوع صفحه	زاویه (درجه)	عدد فرود	طول مؤثر (cm)
۱	تک صفحه	بدون شکاف	۲۳	۰/۲۸۷	۱۴
۲	تک صفحه	بدون شکاف	۲۳	۰/۳۰۴	۱۴
۳	تک صفحه	بدون شکاف	۲۳	۰/۳۲۲	۱۴
۴	تک صفحه	بدون شکاف	۳۰	۰/۲۸۷	۱۴
۵	تک صفحه	بدون شکاف	۳۰	۰/۳۰۴	۱۴
۶	تک صفحه	بدون شکاف	۳۰	۰/۳۲۲	۱۴
۷	تک صفحه	بدون شکاف	۴۰	۰/۲۸۷	۱۴
۸	تک صفحه	بدون شکاف	۴۰	۰/۳۰۴	۱۴
۹	تک صفحه	بدون شکاف	۴۰	۰/۳۲۲	۱۴
۱۰	تک صفحه	بدون شکاف	۶۰	۰/۲۸۷	۱۴
۱۱	تک صفحه	بدون شکاف	۶۰	۰/۳۰۴	۱۴
۱۲	تک صفحه	بدون شکاف	۶۰	۰/۳۲۲	۱۴
۱۳	تک صفحه	شکاف دار	۲۳	۰/۲۸۷	۱۴
۱۴	تک صفحه	شکاف دار	۲۳	۰/۳۰۴	۱۴
۱۵	تک صفحه	شکاف دار	۲۳	۰/۳۲۲	۱۴
۱۶	تک صفحه	شکاف دار	۳۰	۰/۲۸۷	۱۴
۱۷	تک صفحه	شکاف دار	۳۰	۰/۳۰۴	۱۴
۱۸	تک صفحه	شکاف دار	۳۰	۰/۳۲۲	۱۴
۱۹	تک صفحه	شکاف دار	۴۰	۰/۲۸۷	۱۴
۲۰	تک صفحه	شکاف دار	۴۰	۰/۳۰۴	۱۴
۲۱	تک صفحه	شکاف دار	۴۰	۰/۳۲۲	۱۴
۲۲	تک صفحه	شکاف دار	۶۰	۰/۲۸۷	۱۴
۲۳	تک صفحه	شکاف دار	۶۰	۰/۳۰۴	۱۴
۲۴	تک صفحه	شکاف دار	۶۰	۰/۳۲۲	۱۴

تحلیل نتایج

مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد روند کلی آزمایش‌ها بدین‌صورت است که پس از رسیدن ارتفاع آب به تراز تاج سازه بلافاصله آبشستگی و رسوب‌گذاری در صفحات بدون شکاف (صفحه‌ی شاهد) با سرعت زیاد شروع و با گذشت زمان این روند با سرعت کمتری ادامه پیدا می‌کرد. علت این امر تشکیل گردابه‌های پرفشار ناشی از برخورد جریان پایین‌رونده (جریانی که موازی با وتر صفحه‌ی مثلثی به سمت دماغه‌ی صفحه در حرکت است) حول دماغه‌ی صفحه با جریان اصلی فلوم می‌باشد؛ اما در صفحات شکاف‌دار به‌دلیل عبور بخشی از جریان پایین‌رونده از درون شکاف به سمت پایین‌دست روند آبشستگی و رسوب‌گذاری با سرعت به‌مراتب کمتری نسبت به صفحات شاهد شروع و ادامه پیدا می‌کرد.

Archive of SID
www.SID.ir

(الف)

(ب)

شکل ۳- نمایی از آبشستگی و رسوب‌گذاری صفحه‌ی ۳۰ درجه: الف) صفحه شاهد ب) صفحه شکاف دار- عدد فرود ۰/۳۰۴

اثر شکاف بر توپوگرافی بستر حول تک صفحه

بررسی میدانی و مقایسه توپوگرافی بستر حول صفحات در دو حالت شاهد و شکاف‌دار نشان داد که شکاف ایجاد شده در صفحه‌ی مثلثی قادر بوده است با تغییر الگوی جریان در اطراف سازه باعث تغییراتی در توپوگرافی بستر نسبت به حالت شاهد شود. جهت بررسی دقیق اثر شکاف، تصاویر مربوط به توپوگرافی بستر حول صفحات شاهد و شکاف‌دار با استفاده از نرم‌افزار Tecplot ترسیم گردید. شکل (۴) نمونه‌ای از تصاویر ترسیم‌شده برحسب زوایای متفاوت در عدد فرود ۰/۳۲۲ در دو حالت شاهد و شکاف‌دار می‌باشد.

مشاهده‌ی تصاویر ترسیم‌شده توسط نرم‌افزار در دو حالت شاهد و شکاف‌دار در شرایط هیدرولیکی متفاوت نشان می‌دهد که در همه‌ی زوایا شکاف باعث دور کردن چاله‌ی آبشستگی از ساحل بیرونی شده است (به‌عنوان نمونه به شکل (۴) توجه شود). در زاویه‌ی ۲۳ درجه شکاف ایجاد شده باعث انتقال کامل چاله‌ی آبشستگی به پایین‌دست سازه شده است. به‌گونه‌ای که در بالادست سازه هیچ آبشستگی رخ نداده است.

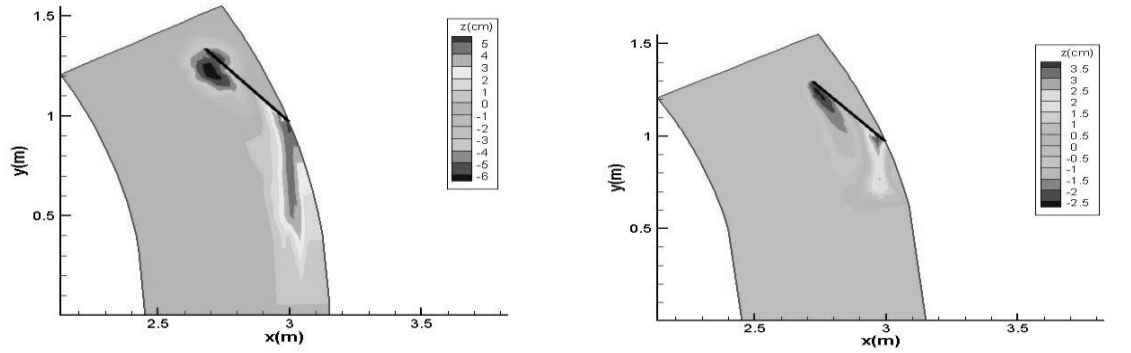
در صفحات بدون شکاف توسعه‌ی چاله‌ی آبشستگی بیشتر در جهت عمقی و به‌صورت متمرکز حول دماغه‌ی صفحه رخ داده است درحالی‌که در صفحات شکاف‌دار توسعه‌ی چاله‌ی آبشستگی به‌صورت طولی و عرضی بوده و در قسمت پایین‌دست صفحه تشکیل شده است. درواقع شکاف ایجاد شده در صفحه باعث شده است که بخشی از جریان پایین‌رونده قبل از رسیدن به دماغه‌ی صفحه به سمت پایین‌دست منحرف شود و از تمرکز جریان حول دماغه جلوگیری کرده است. به همین دلیل چاله‌ی آبشستگی در صفحات شکاف‌دار معطوف به حول دماغه‌ی صفحه نبوده است. آبشستگی در صفحات شاهد ۴۰ و ۶۰ درجه در اعداد فرود متفاوت با عمق زیاد در بالای سازه به ساحل بیرونی رسیده است اما در همین زوایا و در حالتی که صفحات شکاف‌دار هستند آبشستگی فقط در اعداد فرود بالا و با عمق بسیار کمتر از قبل به ساحل رسیده و پیش‌بینی می‌شود اگر از صفحات شکاف‌دار در این زوایا به‌صورت سری جهت حفاظت سواحل و دیواره‌ی رودخانه‌ها استفاده شود، پشته‌ی حاصل از صفحات بالایی قادر باشد آبشستگی جزئی صفحات پایینی را در ساحل بیرونی پر کند. قابل‌ذکر است که با ثابت در نظر گرفتن میزان تنگ‌شدگی صفحات در زوایای متفاوت، صفحات با زاویه نصب بیشتر (۴۰ و ۶۰ درجه) ابعاد کوچک‌تری نسبت به صفحات با زاویه نصب کمتر (۲۳ و ۳۰ درجه) داشته و مقرون به‌صرفه‌تر می‌باشند. اثر دیگر شکاف مربوط به کاهش محدوده‌ی بستر تغییریافته می‌باشد. چراکه مقایسه‌ی تصاویر شکل (۴) در دو حالت شاهد و شکاف‌دار در همه‌ی زوایا نشان می‌دهد که در صفحات شاهد بازه‌ی بیشتری از بستر قوس، تحت تأثیر شرایط جریان، دچار تغییرات شده است.

اثر شکاف بر نسبت بدون بعد بیشینه عمق آبشستگی به عمق جریان حول دماغه‌ی تک صفحه

بیشینه عمق آبشستگی همواره به‌عنوان پارامتری پراهمیت در تعیین عمر سازه‌های آبشکن مورد تحلیل محققان قرار گرفته است. تحقیقات نشان داده است که ایجاد شکاف موجب کوچک‌تر شدن ناحیه‌ی تنش‌های برشی بحرانی و کاهش قدرت گردابه‌های مخرب به وجود آمده در اطراف سازه خواهد شد (Noorifar *et al.*, 2010). در تحقیق حاضر به‌منظور بررسی اثر شکاف بر بیشینه عمق آبشستگی حول دماغه‌ی صفحه، نمودارهای شکل (۵) که حاصل نسبت بیشینه عمق آبشستگی (Z_{max}) به عمق جریان (Y) در زوایا و شرایط هیدرولیکی متفاوت در دو حالت شاهد و شکاف‌دار می‌باشد، ارائه گردیده است.

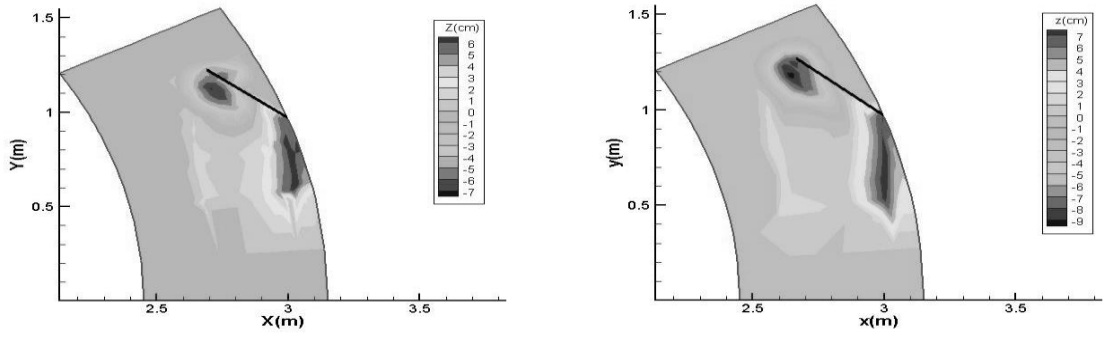
Archive of SID

www.SID.ir



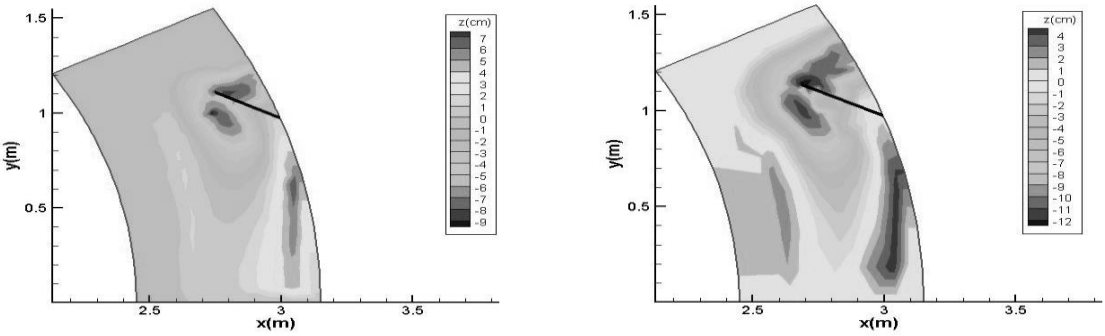
(ب) (الف)

زاویه‌ی ۲۳ درجه



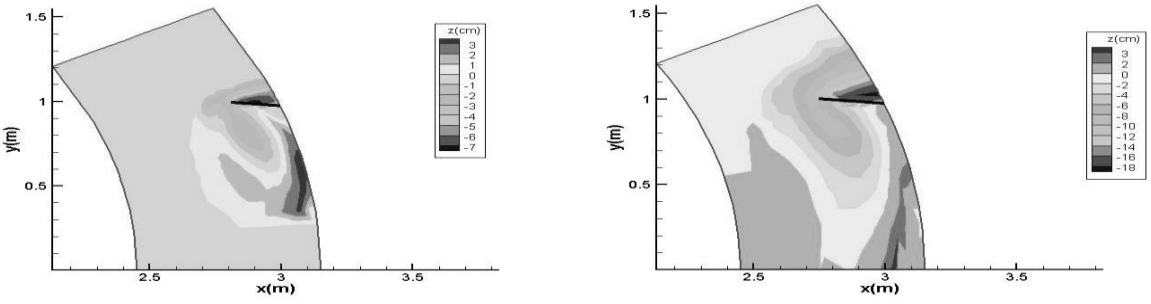
(ب) (الف)

زاویه‌ی ۳۰ درجه



(ب) (الف)

زاویه‌ی ۴۰ درجه



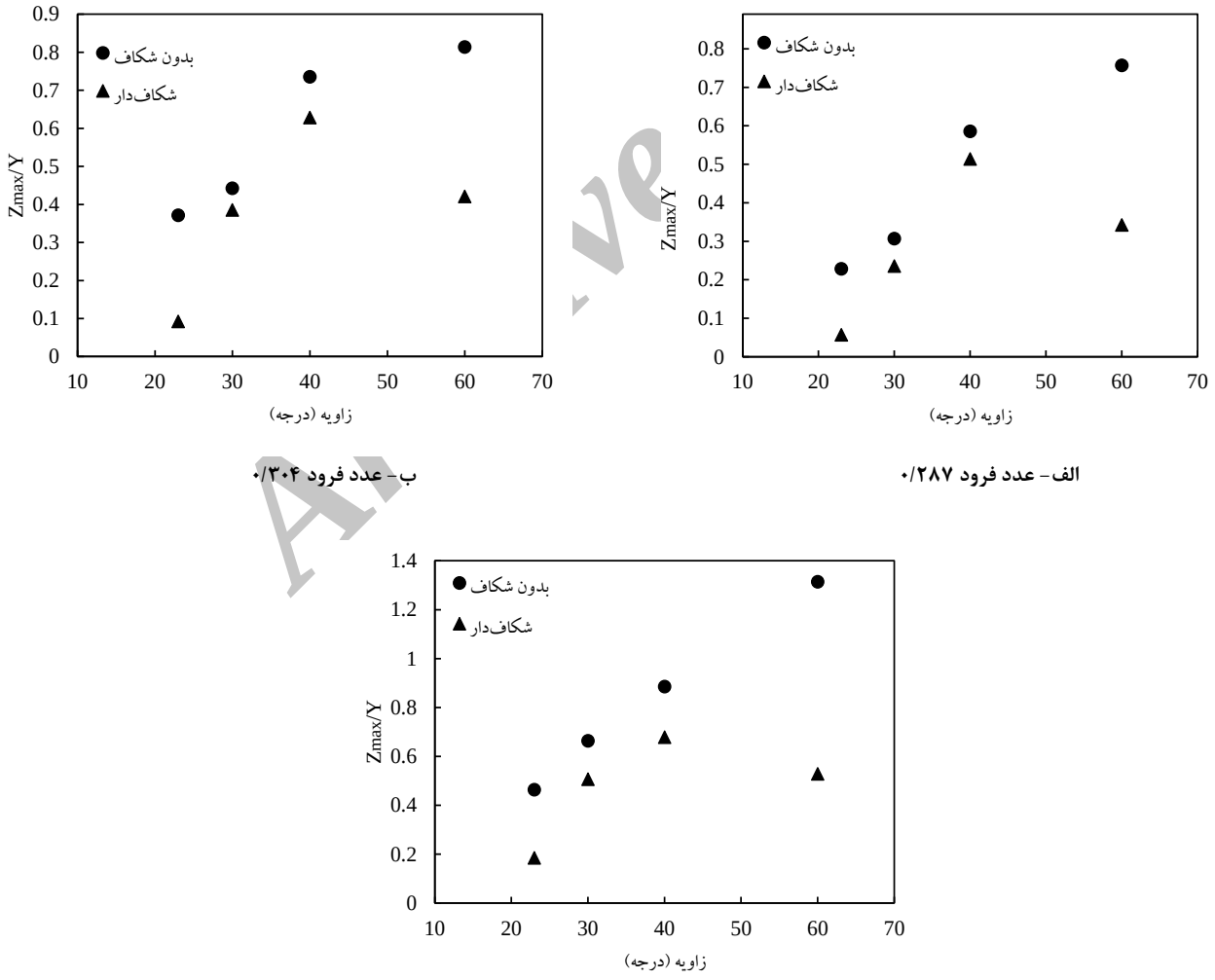
(ب) (الف)

زاویه‌ی ۶۰ درجه

شکل ۴- توپوگرافی بستر حول صفحات شاهد (الف) و شکاف‌دار (ب) در زوایای متفاوت- عدد فرود ۰/۳۲۲

www.SID.ir

صفحه‌ی مثلثی شاهد مورداستفاده در تحقیق حاضر طبق تحقیقات صورت گرفته در گذشته حالت بهینه‌ای از آبشکن‌ها (ازلحاظ شکل هندسی، درجه استغراق و غیره) می‌باشد که قادر به ایجاد کمترین آبشستگی حول دماغه‌ی خود نسبت به بقیه آبشکن‌ها بوده است اما توجه به نمودارهای شکل (۵) و جدول (۲) نشان می‌دهد که شکاف ایجاد شده در صفحه شاهد قادر بوده است در همه‌ی زوایا و اعداد فرود متفاوت نقشی مؤثر در کاهش بیشینه عمق آبشستگی ایفا نماید. شکاف ایجاد شده، بیشینه عمق آبشستگی حول دماغه‌ی صفحه را در زوایا و شرایط هیدرولیکی متفاوت بین ۱۲ تا ۷۵ درصد بهبود بخشیده است (جدول ۲). درواقع شکاف با قرارگیری در جلوی جریان پرفشار پایین‌رونده منجر به انحراف بخشی از این جریان و در نتیجه باعث کاهش قدرت گردابه‌های پرفشار در قسمت دماغه‌ی سازه شده است. از طرفی جریان منحرف‌شده از درون شکاف با برخورد به جریان پادساعتگرد موجود در پایین‌دست دماغه‌ی سازه، باعث کاهش قدرت این جریان، به‌عنوان عامل تشکیل چاله‌ی آبشستگی و پشته‌گذاری، شده است. در نتیجه مشاهده می‌شود که در صفحات شکاف‌دار، بیشینه عمق آبشستگی و پشته‌ی رسوب‌گذاری نسبت به صفحات شاهد کاهش یافته است. در تحقیقات گذشته توسط Abdolahpour *et al*. (2012) بر روی آبشکن با دیواره عمودی (مستطیلی) درصد کاهش عمق آبشستگی برای مدل‌های متفاوت در اثر ایجاد شکاف از ۱۱/۸ تا ۴۳ درصد متغیر بود.



الف- عدد فرود ۰/۲۸۷

ب- عدد فرود ۰/۳۰۴

ج- عدد فرود ۰/۳۲۲

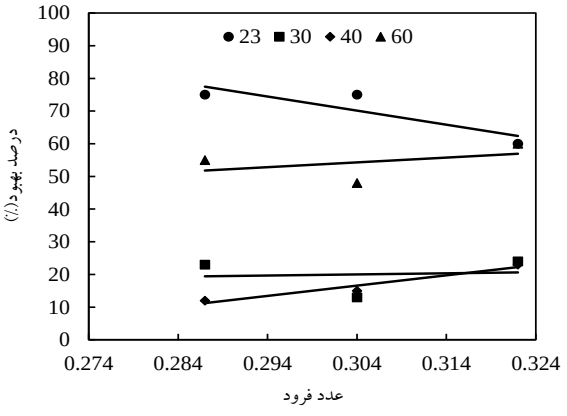
شکل ۵- تغییرات بیشینه عمق آبشستگی نسبی برحسب زاویه در صفحات شاهد و شکاف‌دار

www.SID.ir

جدول ۲- نتایج مربوط به درصد کاهش بیشینه عمق آبشستگی در زوایا و شرایط هیدرولیکی متفاوت

زاویه (درجه)	عدد فرود	بیشینه عمق آبشستگی (صفحه‌ی بدون شکاف) (cm)	بیشینه عمق آبشستگی (صفحه‌ی شکاف‌دار) (cm)	درصد کاهش بیشینه عمق آبشستگی (درصد بهبود) (٪)
۲۳	۰/۲۸۷	-۳/۲	-۰/۸	۷۵
	۰/۳۰۴	-۵/۲	-۱/۳	۷۵
	۰/۳۲۲	-۶/۵	-۲/۶	۶۰
۳۰	۰/۲۸۷	-۴/۳	-۳/۳	۲۳
	۰/۳۰۴	-۶/۲	-۵/۴	۱۳
	۰/۳۲۲	-۹/۳	-۷/۱	۲۴
۴۰	۰/۲۸۷	-۸/۲	-۷/۲	۱۲
	۰/۳۰۴	-۱۰/۳	-۸/۸	۱۵
	۰/۳۲۲	-۱۲/۴	-۹/۵	۲۳
۶۰	۰/۲۸۷	-۱۰/۶	-۴/۸	۵۵
	۰/۳۰۴	-۱۱/۴	-۵/۹	۴۸
	۰/۳۲۲	-۱۸/۴	-۷/۴	۶۰

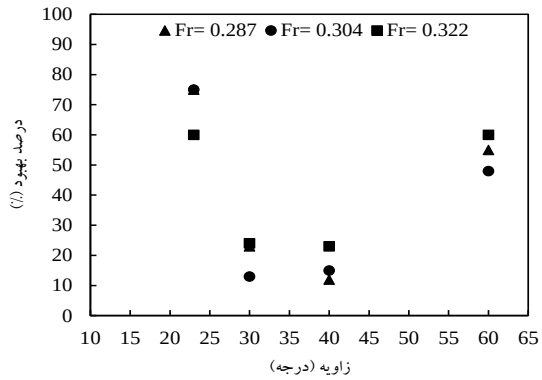
با مشاهده‌ی تغییرات صورت گرفته بر توپوگرافی بستر اطراف صفحه شکاف‌دار در شرایط هیدرولیکی متفاوت و نیز دقت در جدول (۲) دریافت می‌شود که با تغییر عدد فرود جریان و نیز تغییر زاویه نصب سازه، عملکرد شکاف در بهبود بیشینه عمق آبشستگی تغییر پیدا کرده است. به‌منظور بررسی عملکرد شکاف در مقابل تغییرات (افزایش) عدد فرود جریان، نمودار شکل (۶) ترسیم گردیده است. محور عمودی بیان‌گر درصد بهبود بیشینه عمق آبشستگی و محور افقی مربوط به تغییرات شرایط هیدرولیکی جریان می‌باشد.



شکل ۶- تغییرات درصد بهبود بیشینه عمق آبشستگی برحسب عدد فرود جریان در زوایای متفاوت

با توجه به نمودار شکل (۶)، در زاویه ۲۳ درجه با افزایش عدد فرود جریان، عملکرد شکاف در کاهش بیشینه عمق آبشستگی پایین آمده است. از طرفی افزایش عدد فرود جریان تقریباً تأثیری بر عملکرد شکاف در زاویه‌ی ۳۰ درجه نداشته و در زوایای ۴۰ و ۶۰ درجه عملکرد شکاف با افزایش عدد فرود جریان افزایش یافته است. توجه به این روند نشان می‌دهد که هرچه زاویه‌ی نصب صفحه بیشتر بوده است عملکرد شکاف با افزایش عدد فرود جریان، بهتر شده است.

نمودار شکل (۷) نمایان‌گر عملکرد شکاف در زوایای متفاوت می‌باشد. محور عمودی این نمودار بیان‌گر درصد بهبود بیشینه عمق آبشستگی و محور افقی مربوط به زوایای متفاوت نصب سازه می‌باشد.



شکل ۷- تغییرات درصد بهبود بیشینه عمق آبشستگی برحسب زاویه‌ی نصب صفحه در اعداد فرود متفاوت

توجه به نمودار شماره‌ی (۷) نشان می‌دهد که عملکرد شکاف در بهبود بیشینه عمق آبشستگی بعد از زاویه‌ی ۲۳ درجه

Archive of SID
www.SID.ir

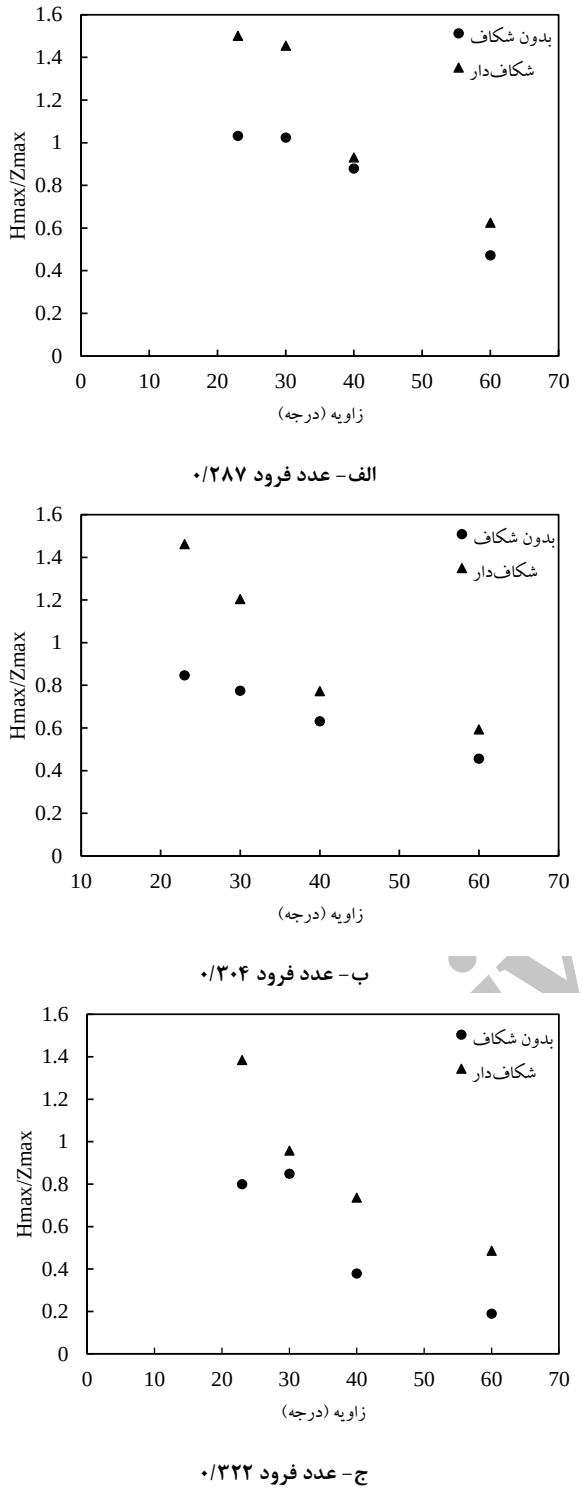
یعنی در زوایای میانی با کاهش همراه بوده و دوباره در زاویه‌ی ۶۰ درجه افزایش یافته است. قابل‌ذکر است که این روند در هر سه عدد فرود تکرار شده است. طبق جدول شماره‌ی (۲) متوسط درصد کاهش بیشینه عمق آبشستگی (برابر با میانگین درصد بهبود در سه عدد فرود) توسط شکاف ایجاد شده در زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه به ترتیب ۷۰، ۲۰، ۱۷ و ۵۴ درصد بوده است.

اثر شکاف بر کارکرد سازه

نقش اصلی سازه‌های آبشکن انحراف جریان از کناره به سمت میانه‌ی رودخانه می‌باشد. نتیجه‌ی این انحراف جریان توسعه‌ی یک ناحیه‌ی چرخشی با تلاطم شدید پیرامون آبشکن خواهد بود. فرآیند هیدرولیکی منجر به توسعه‌ی ناحیه‌ی آبشستگی موضعی در پیرامون آبشکن و ته‌نشست رسوبات به‌صورت یک بار رسوبی طویل[1] در پایین‌دست آبشکن می‌شود. درحالی‌که آبشستگی یک خطر موضعی و جدی برای پایداری، دوام و کارکرد سازه‌ی آبشکن محسوب می‌شود، پدیده‌ی رسوب‌گذاری در کناره‌ی پایین‌دست رودخانه موجب توسعه و تثبیت طبیعی دیواره‌ی رودخانه در راستای موردنظر خواهد بود (Anon, 2008). توجه به بیشینه عمق آبشستگی و بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری اتفاق افتاده در زوایای متفاوت در دو حالت شاهد و شکاف‌دار نشان می‌دهد که تعبیه‌ی شکاف باعث ایجاد تغییراتی در کارکرد سازه نسبت به حالت شاهد شده است. نمودارهای شکل (۸) جهت بررسی نوع عملکرد سازه بر مکانیزم آبشستگی موضعی و رسوب‌گذاری در دو حالت شاهد و شکاف‌دار ترسیم گردیده است. محور عمودی بیان‌گر نسبت بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری (H_{max}) به بیشینه عمق آبشستگی (Z_{max}) و محور افقی مربوط به زاویه‌ی نصب سازه می‌باشد.

توجه به نمودارهای شکل (۸) نشان می‌دهد که در اعداد فرود متفاوت صفحات شکاف‌دار عملکرد بهتری در ایجاد تعادل بین بیشینه عمق آبشستگی و بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری نسبت به صفحات شاهد داشته‌اند. بدین معنی که صفحات شکاف‌دار قادر بوده‌اند با توجه به بیشینه عمق آبشستگی اتفاق افتاده حول دماغه‌ی سازه، ساحل مجازی (پشتهٔ حاصل از رسوب‌گذاری) با ارتفاع مناسبی در ساحل بیرونی ایجاد نمایند درصورتی‌که در صفحات شاهد باوجود آبشستگی زیاد حول دماغه، ساحل مجازی با ارتفاع کم در ساحل بیرونی ایجاد شده است.

قابل‌توجه است که اثرگذاری شکاف بر کارکرد سازه در زوایای ۲۰ و ۳۰ درجه بیشتر از زاویای ۴۰ و ۶۰ درجه بوده است (شکل ۸).



الف- عدد فرود ۰/۲۸۷

ب- عدد فرود ۰/۳۰۴

ج- عدد فرود ۰/۳۲۲

شکل ۸- تغییرات بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری به بیشینه عمق آبشستگی برحسب زاویه نصب در اعداد فرود متفاوت

نتیجه‌گیری

ایجاد شکاف مستطیلی با ابعاد مشخص در صفحه متصل به ساحل و بررسی اثر شکاف بر توپوگرافی بستر و عملکرد صفحه در زوایا و شرایط هیدرولیکی مختلف نشان داد که:

1 Deposition Bar

www.SID.ir

- شکاف ایجاد شده در صفحه باعث دور کردن چاله آبشستگی از ساحل بیرونی شده است.
- صفحه‌ی شکاف‌دار عملکرد بهتری در ایجاد تعادل بین بیشینه عمق آبشستگی و بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری نسبت به صفحه‌ی شاهد داشته است.
- متوسط درصد کاهش بیشینه عمق آبشستگی توسط شکاف ایجاد شده در زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درجه به ترتیب ۷۰، ۲۰، ۱۷ و ۵۴ درصد بوده است.
- در زوایای میانی (۳۰ و ۴۰ درجه) عملکرد شکاف (در بهبود بیشینه عمق آبشستگی) با افت همراه بوده است.
- به‌دلیل ثابت بودن طول تأثیر سازه در زوایای نصب متفاوت، هر اندازه زاویه نصب سازه بیشتر باشد ابعاد سازه کوچک‌تر است، با توجه به اثر قابل‌توجه شکاف ایجاد شده در کاهش بیشینه عمق آبشستگی صفحه‌ی ۶۰ درجه، استفاده از سری این صفحات به‌صورت شکاف‌دار به‌جای سری صفحات ۳۰ درجه بدون شکاف، کاملاً مقرون‌به‌صرفه خواهد بود.
- هرچه زاویه‌ی نصب صفحه بیشتر باشد، با افزایش عدد فرود جریان، عملکرد شکاف (در بهبود بیشینه عمق آبشستگی) افزایش یافته است.

سپاس‌گزاری

این پژوهش با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم انجام شده است. به این وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و اساتید راهنمای گرامی تشکر و قدردانی می‌شود.

معرفی نمادها

a: عرض شکاف

b: طول شکاف

D_{50}: قطر متوسط ذرات رسوبی

F_r: عدد فرود جریان

H: ارتفاع صفحه متصل به ساحل

H_{max}: بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری

L: قاعده صفحه متصل به ساحل

Y: عمق جریان

Z_{max}: بیشینه عمق آبشستگی

σ: انحراف معیار رسوبات

REFERENCES

Abdolahpour, M., Hassanpour, N. khosraviniya, p. and Hosseinzade Dalir, A. 2012. Effect of Slot on Reduction of Scouring Around the Vertical Abutment. *Journal of Water and Soil Science.* 23(3), 193-206. (In Farsi)

Aghakhanei Afshar, A.H., Faghfoor Maghrebi, M. and Esmaili, K. 2010. Experimental investigation of effect of pier slot geometry and adjacent piers on reduction of local scour. 5th National Congress on Civil Engineering. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi)

Anon, 2008. Guidance of design and protection of river spur dike. No. 516. Ministry of Power. President Deputy Strategic Planning and Control. (In Farsi)

Bahrami Yarahmadi, M. and Shafaei Bajestan, M. 2014. Bed topography variations in a 90° mild bend due to triangle-shaped spur dike. *Journal of Modares Civil Engineering.* 14(2), 165-203. (In Farsi)

Chiew, Y. M. 1992. Scour Protection at Bridge Piers. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 118(9). 1260-1269.

Christensen, Z.M. 2009. Reduction of Local Scour around Bridge Piers: Combined System of Aerofoil and Slot. BS Thesis, Department of Engineering and Surveying. University of Southern Queensland.

Heidarnejad, M., Shafai Bajestan, M. and Masjedi, A. 2010. The effect of slot on scouring around piers in different positions of 180 degree bends. *Journal of World Applied Sciences.*8(7), 892-899.

Heidarpoor, M., Afzalimeher, H. and Nadernabi, M. 2001. Control and reduction of local scour in rectangular bridge piers by slot. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 7(3), 23-27. (In Farsi)

Hosseini, M. and Fathi, A. 2015. The effect of slot location on reduction of local scouring of the submerged triangular vane attached to the bank. Master of Civil Engineering Thesis. Faculty of Water Science Engineering. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Farsi)

Izadi Niya, A., Heidarpoor. M. and Afzalimehr, H. 2007. Investigation of effect of slot in reduction of scour at rectangular bridge piers. 3th National Conference on Water Resources Management. Tabriz University. (In Farsi)

Johnson, P. A., Hey, R. D. Tessier, M. and D. L. Rosgen. 2001. Use of vanes for control of Scour at vertical wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(90), 772–778.

Kardan, N. 2015. 3D numerical investigation of performance of pier couple-slot in flow pattern variation and bed shear stress around it. *Journal*

Archive of SID

www.SID.ir

of Marine Science and Technology. 76, 17-30. (In Farsi)

Khodabakhshi. A., Saneie. M. and Abdekolahchi. A. 2012. Experimental investigation of effect of slot height from river bed surface on pier local scour. 11th Hydraulic Conference. Oromiye University. (In Farsi)

Kumar, V. 1996. Reduction of scour around bridge piers using protection devices. PhD Thesis. University of Rookie. India.

Kumar, V., Rang Raju, K.G. and Vittal, N. 1999. Reduction of Local Scour around Bridge piers Using Slot & Collars. *Journal of Hydraulic Engineering. ASCE*. 125(12), 1302-1305.

Moncada, A.T., Aguirre, P.E.J. Bolivar, J.C. and Flores, E.J. 2009. Scour protection of circular bridge piers with collar and slots. *Journal of Hydraulic Engineering Research*. 47(1),119-126.

Noorifar, M., Faghfoor Maghrebi, M. and Hassanzadeh, Y. 2010. Numerical comparison of reduction of local scour around slotted pier and separate couple-pier. 5th National Congress on Civil Engineering. Ferdowsi University of Mashhad. (In Farsi)

Pir Mohammadi, D. 2004. Effect of slot on stability of riprap under control and reduction of local scour of bridge piers. Master of Water Engineering Thesis. Faculty of Agriculture. Esfahan University. (In Farsi)

Soltani. S., Heidarpoor. M. and Afzalimehr, H. 2009. Control of pier local scour with and without slot in rectangular piers and single pier group. 8th Hydraulic Conference. Tehran University. (In Farsi)

Archive of SID

www.SID.ir