

## بررسی آزمایشگاهی اثر شکاف در بدنه آبشکن بر کنترل آبشستگی اطراف آن در قوس ۱۸۰ درجه

بیبا جعفری و علیرضا مسجدی<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۳)

### چکیده

یکی از روش‌های کنترل آبشستگی در اطراف آبشکن، استفاده از شکاف در بدنه آن است. وجود شکاف در بدنه آبشکن باعث ضعیف شدن جریان‌های گردابی در دماغه آبشکن می‌شود. در این تحقیق به بررسی عملکرد شکاف در بدنه آبشکن و اثر آن در کنترل آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه پرداخته شده است. آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه و در شرایط آب زلال انجام شد. آزمایش‌ها با استفاده از تک‌آبشکن بدون شکاف و آبشکن با وجود شکاف در چهار موقعیت با دو ارتفاع در بدنه در چهار شدت جریان مختلف انجام شد. در هر آزمایش عمق آبشستگی در انتهای هر آزمایش اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد عملکرد شکاف در بدنه آبشکن در کاهش آبشستگی در اطراف آن به موقعیت قرارگیری و ارتفاع شکاف بستگی دارد. همچنین در هر دو ارتفاع شکاف، کمترین عمق آبشستگی در نزدیکترین فاصله قرارگیری شکاف از دماغه آبشکن و بیشترین عمق آبشستگی، در دورترین فاصله قرارگیری شکاف از دماغه آبشکن اتفاق افتاد.

واژه‌های کلیدی: آبشکن، شکاف، عمق آبشستگی، قوس ۱۸۰ درجه

۱. گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: drmasjedi.2007@yahoo.com

## مقدمه

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که برای ساماندهی رودخانه در شرایط بازه‌ای مختلف مستقیم، قوسی، کوهستانی، سیلاب‌دستی به‌صورت منفرد یا سری استفاده می‌شوند و با منحرف کردن خطوط جریان از دیواره‌های فرسایش‌پذیر به قسمت‌های میانی رودخانه، همچنین با کاهش سرعت جریان از شدت برخورد آب با دیواره‌ها کاسته و توانایی رسوب‌گذاری جریان را افزایش می‌دهد. از جمله مسائل مهم در طراحی آبشکن‌ها، پدیده آبشستگی موضعی دماغه آنها است که به‌علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود جریان‌های گردابی قوی به‌وجود می‌آید (۴). هنگام برخورد آب به دماغه آبشکن، به‌دلیل توزیع سرعت در عمق رودخانه، آب به سمت بستر منحرف می‌شود. سرعت جریان پس از برخورد به آبشکن تبدیل به فشار روی آبشکن می‌شود و بدین ترتیب گرادیان فشار ایجاد شده باعث ایجاد جریانی به طرف کف بستر می‌شود. سرعت این جریان به‌دلیل تغییر در گرادیان فشار از سطح به کف زیاد می‌شود. جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر، به جهات مختلف پراکنده می‌شود و مقداری از آن باعث حفر زمین می‌شود. مقداری از این جریان که رو به سمت بالادست برمی‌گردد، در برخورد با جریان عمومی مجبور به حرکت در جهت جریان می‌شود و به آبشکن برخورد می‌کند، این چرخش جریان و بازگشت مجدد آن مقدمه تشکیل گرداب نعل اسبی است. چرخش آب در داخل حفره جلو آبشکن به دو طرف نیز کشیده می‌شود و در مجموع گردابی را ایجاد می‌کند که در پلان به نعل اسب شبیه است و از آن رو به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. حفر حفره آبشستگی توسط گرداب نعل اسبی، آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب داخل حفره زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند.

جریان‌های پایین‌رونده و گرداب‌های اولیه در گوشه بالادست آبشکن با گرداب‌های ثانویه و برخاستگی در بخش میانی و گوشه پایین دست آبشکن، باعث اثر متقابل بین جریان آب و مواد بستر شده و عامل اصلی آبشستگی اطراف آبشکن هستند (۶ و ۸). ترکیب این فاکتورها منجر به برداشته شدن

مواد بستر از اطراف آبشکن و در دراز مدت باعث ایجاد حفره‌های بزرگ در محل دماغه آبشکن می‌شود و احتمال تخریب سازه را به‌دنبال خواهد داشت. به‌همین دلیل با کنترل و محافظت از این سازه در برابر آبشستگی و ارائه روش‌های مناسب کاهش آبشستگی، می‌توان از این خسارت پیشگیری کرد. به‌طورکلی روش‌های کاهش آبشستگی در دو گروه روش‌های مقاوم سازی بستر و روش‌های تغییر الگوی جریان طبقه‌بندی می‌شوند. گروه اول روش‌هایی هستند که به‌منظور تقویت بستر و بالا بردن مقاومت آن در برابر تنش برشی ناشی از جریان استفاده می‌شوند. در این روش مواد مختلفی را در بستر، سواحل یا مجاورت آبشکن قرار می‌دهند تا توانایی و مقاومت بستر و دیواره‌ها در برابر آبشستگی افزایش یابد. از جمله این روش‌ها می‌توان به سنگ‌چین اشاره کرد. در روش‌های تغییر الگوی جریان، آبشستگی به واسطه کاهش قدرت جریان (کاهش شدت گرداب‌های ایجاد شده) کنترل می‌شود که استفاده از طوق، صفحات مستغرق و شکاف نمونه‌هایی از آن هستند. کاربرد اصلی شکاف، منحرف کردن جریان پایین‌رونده در وجه بالادست آبشکن و جریان‌های کناری در اطراف آن است. تعبیه شکاف موجب کاهش میزان تنش‌های برشی کف کانال، کوچک‌تر شدن ناحیه تنش‌های برشی بحرانی و کاهش قدرت گردابه‌های مخرب شکل گرفته در اطراف سازه می‌شود. تأثیر شکاف در کاهش این عوامل بستگی به طول، عرض، موقعیت قرارگیری و زاویه برخورد جریان با امتداد شکاف دارد.

محققین مختلفی از جمله پیرمحمدی (۲)، ایزدی‌نیا و همکاران (۱)، نوری‌فر و همکاران (۵)، حیدرپور و همکاران (۱۱) و تفروج‌نوروز و همکاران (۱۶) کاربرد شکاف در کاهش آبشستگی پایه‌های پل را مورد بررسی قرار داده‌اند.

چپو در مطالعات خود پارامترهایی همچون عرض، ارتفاع و موقعیت شکاف را روی پایه پل بررسی کرد. نتایج نشان داد که با قرارگیری یک شکاف با عرض ۰/۲۵ برابر قطر پایه پل و شکاف بزرگ‌تر از دو برابر قطر پایه، شکاف نزدیک بستر

شکاف دار همانند آبشکن بدون شکاف، آبشستگی از جلوی دماغه در وجه بالادست آبشکن شروع می‌شود. با افزایش ارتفاع شکاف تا ارتفاع بیشتر از عمق جریان کاهش بیشتری در عمق آبشستگی ایجاد می‌شود. شکاف های با عمق معادل نصف عرض آبشکن نسبت به دیگر شکاف‌ها کاهش آبشستگی کمتری ایجاد کردند. درصد کاهش آبشستگی به ازای قرارگیری شکاف در ارتفاع مختلف از سطح جریان، فاصله قرارگیری مختلف از دماغه و عمق شکاف مختلف بین ۱۱/۸ تا ۲۸ درصد به دست آمد. در صورتی که این عمق به درستی برآورد نشود، می‌تواند منجر به تخریب سازه آبشکن شود. براساس مطالعات انجام شده، عمق آبشستگی در اطراف آبشکن به عواملی از جمله ارتفاع شکاف، عرض شکاف، موقعیت قرارگیری شکاف بر روی آبشکن بستگی دارد (۳).

تحقیقات انجام شده در گذشته نشان می‌دهد وجود شکاف در بدنه آبشکن به عنوان عامل مؤثر برای کنترل آبشستگی در اطراف آبشکن است. با توجه به اینکه الگوی جریان و تغییرات سرعت در محدوده آبشکن‌ها در کانال‌های مستقیم پیچیده و سه‌بعدی است. در صورتی که این آبشکن‌ها روی کانال‌های قوسی احداث شوند، به دلیل الگوی جریان در قوس‌ها، این وضعیت پیچیده‌تر خواهد شد. لذا نیاز به تحقیق بیشتر در خصوص تأثیر ارتفاع و موقعیت قرارگیری شکاف در بدنه و عدد فرود در عملکرد کاهش آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه است.

### مواد و روش‌ها

با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال رابطه (۱) بین پارامترهای مؤثر بر آبشستگی اطراف آبشکن در حالت تعادل برقرار است:

$$f(B, R, \theta, d\delta^\circ, S_0, L_a, B_a, W, Y, T, X, y_0, V, g, \rho_w, \mu, \rho_s, ds) = 0 \quad [1]$$

در رابطه (۱)،  $B$  عرض مجرا،  $R$  شعاع مرکزی قوس،  $\theta$  زاویه موقعیت قرارگیری آبشکن در قوس،  $d\delta^\circ$  قطر متوسط بار

به میزان ۲۰ درصد و نزدیک سطح آب تا پنج درصد به کاهش عمق آبشستگی کمک می‌کند. همچنین شکافی به عرض نصف پایه می‌تواند عمق آبشستگی را به میزان ۳۰ درصد کاهش دهد (۷).

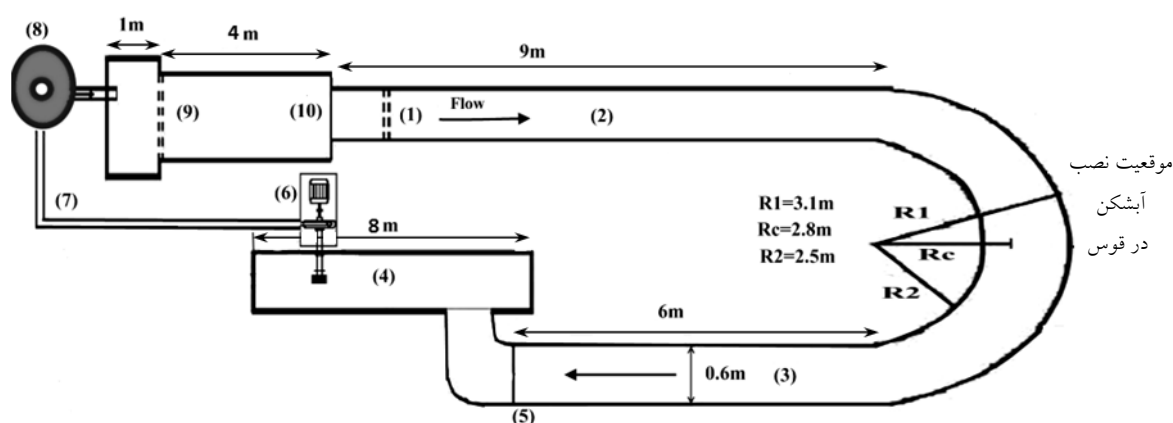
کمار و همکاران شکاف‌هایی به عرض ۰/۲۵ قطر پایه و با دو ارتفاع  $Y = y_0 + ds$  و  $Y = y_0$  (عمق جریان یکنواخت و  $y_0$  عمق جریان بدون شکاف در  $ds$  عمق معادل آبشستگی موضعی در پایه پل بدون شکاف در پایه‌های استوانه‌ای ایجاد کردند. ایشان به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع شکاف، عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند و شکاف‌هایی با ارتفاع بیشتر از عمق جریان، کاهش بیشتری در عمق آبشستگی ایجاد می‌کند (۱۲).

مونکادا و همکاران به بررسی عملکرد طوق و شکاف در کاهش آبشستگی پایه پل پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش ارتفاع شکاف و در صورت استفاده هم‌زمان با طوق، می‌توان آبشستگی را ۴۸ تا ۸۵ درصد کاهش داد (۱۴).

حیدرنژاد و همکاران تأثیر شکاف را در کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل در قوس ۱۸۰ درجه بررسی کردند. نتایج تحقیقات نشان داد درصد کاهش آبشستگی به ازای قرارگیری شکاف در ارتفاع مختلف از سطح بستر بین ۱۲ تا ۲۳/۸ است (۱۰).

مسجدی و مرادی بر روی آبشستگی در اطراف آبشکن در قوس ۱۸۰ درجه تحقیقاتی انجام دادند و نتیجه گرفتند که حداکثر آبشستگی در نزدیکی دماغه و بالادست آبشکن اتفاق می‌افتد. با قرار دادن آبشکن در موقعیت‌های مختلف با دبی‌های ۲۰، ۲۴ و ۲۶ لیتر بر ثانیه به این نتیجه رسیدند که حداکثر عمق آبشستگی در نیمه اول قوس (صفر تا ۹۰ درجه) کمتر از نیمه دوم قوس (۹۰ تا ۱۸۰ درجه) است. همچنین ابعاد چاله آبشستگی نیز همانند عمق آبشستگی با جابه‌جایی آبشکن از نیمه اول به نیمه دوم قوس افزایش می‌یابد (۴).

حسن‌پور و همکاران در زمینه تأثیر شکاف در توسعه زمانی آبشستگی اطراف آبشکن‌ها در مسیر مستقیم تحقیقاتی انجام داده‌اند. ایشان به این نتیجه رسیدند که در آزمایش آبشکن



۱- آرام‌کننده جریان ۲- کانال ورودی ۳- کانال خروجی ۴- مخزن زیرزمینی آب ۵- دریچه کنترل سطح آب ۶- پمپ سانتریفیوژ ۷- لوله‌های انتقال ۸- حوضچه آرامش ۹- سرریز مثلثی

### شکل ۱. فلوم آزمایشگاهی

مرکزی  $R = 2/8 \text{ m}$  و عرض  $B = 0/6 \text{ m}$  انجام شد. انحنای نسبی قوس  $R/B = 4/7$  بود که قوس را در رده قوس‌های ملایم قرار می‌دهد. کانال مستقیم ورودی به طول ۹ متر به یک کانال با قوس  $180^\circ$  درجه متصل می‌شود. این کانال قوسی شکل توسط کانال مستقیم دیگری به طول شش متر به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن خروجی متصل می‌شود (شکل ۱).

طبق توصیه دونات حداکثر طول آبشکن باید بین ۱۰ تا ۲۰ درصد عرض کانال در نظر گرفته شود (۹)، لذا در این تحقیق یک مدل آبشکن از جنس پلکسی گلاس و با دیواره عمودی به طول ۱۲ سانتی‌متر و عرض ۲ سانتی‌متر انتخاب شد.

به منظور بررسی اثر شکاف در بدنه آبشکن بر کنترل آبشستگی اطراف آن، دو شکاف با ارتفاع ۱۳ و ۲۱ سانتی‌متر که ارتفاع اول معادل عمق جریان ( $Y = y_0$ ) و ارتفاع دوم معادل عمق جریان و عمق تعادل آبشستگی ( $Y = y_0 + ds$ ) در نظر گرفته شد. همچنین شکاف‌ها در چهار فاصله بین محور مرکزی شکاف تا دماغه آبشکن برابر ۳، ۵، ۷ و ۹ سانتی‌متر با فاصله نسبی ۰/۲۵، ۰/۴۲، ۰/۵۸ و ۰/۷۵ ایجاد شد. حسن‌پور و همکاران، عمق شکاف معادل عرض آبشکن ( $T = B_a$ ) در نظر گرفتند که در این تحقیق عمق شکاف در دو مدل آبشکن ثابت و برابر ضخامت مدل در نظر گرفته شد (شکل ۲).

بستر،  $S_0$  شیب کف فلوم،  $L_a$  طول آبشکن،  $B_a$  عرض آبشکن،  $W$  عرض شکاف،  $Y$  ارتفاع شکاف،  $T$  ضخامت شکاف،  $X$  فاصله بین مرکز شکاف تا دماغه آبشکن،  $y_0$  عمق جریان آب در پایین‌دست،  $V$  سرعت متوسط جریان،  $g$  شتاب ثقل،  $\rho_w$  جرم مخصوص آب،  $\mu$  لزجت سیال،  $\rho_s$  جرم مخصوص رسوبات و  $ds$  عمق آبشستگی در حالت تعادل است. با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت در معادله (۱)، معادله زیر به دست می‌آید:

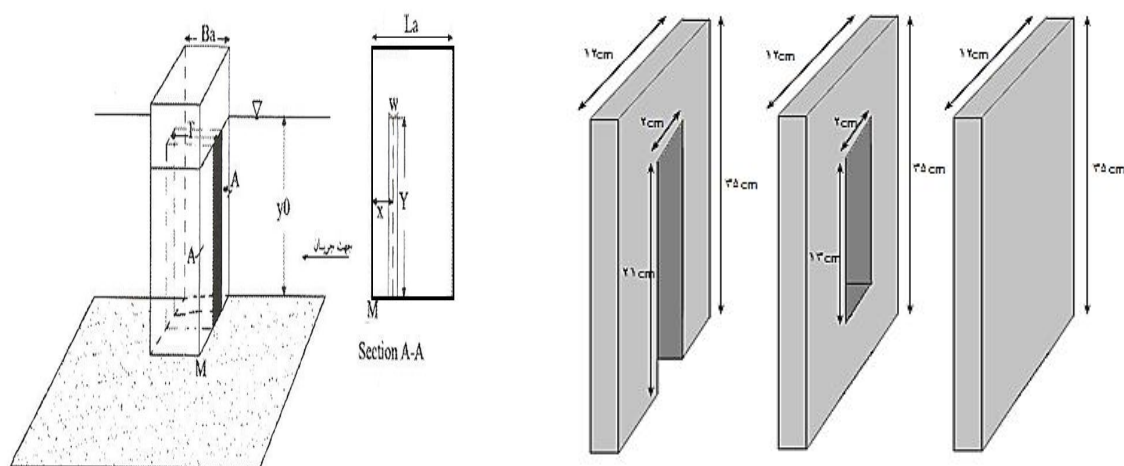
$$f(L_a, Y, X, y_0, V, g, \rho_w, ds) = 0 \quad [2]$$

با استفاده از تئوری باکینگهام رابطه (۲) به صورت زیر بدون بعد می‌شود:

$$f\left(Fr, \frac{X}{L_a}, \frac{ds}{y_0}\right) = 0 \quad [3]$$

در رابطه (۳)،  $Fr$  عدد فرود،  $X/L_a$  فاصله نسبی محور مرکزی شکاف تا دماغه آبشکن،  $ds/y_0$  عمق نسبی آبشستگی است. در کلیه آزمایش‌ها با توجه به آشفتگی جریان، جریان از نوع متلاطم بود و عدد رینولدز حذف شد.

به منظور بررسی اثر شکاف در بدنه آبشکن روی چاله آبشستگی اطراف آن در قوس  $180^\circ$  درجه، از یک فلوم آزمایشگاهی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز استفاده شد. آزمایش‌ها در یک فلوم از جنس پلکسی گلاس قوسی شکل با مقطع مستطیلی، با زاویه مرکزی  $180^\circ$  درجه، شعاع



شکل ۲. آبشکن همراه با شکاف در بدنه

از ارابه متحرک، بستر کانال تحت شیب ثابت مسطح حدود ۰/۰۰۰۲ پیش از راه‌اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و جهت جلوگیری از تشکیل ریپل و ناهمواری در سطح بستر، آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شده و اشباع شدن کانال به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه به طول انجامید. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات، دبی جریان توسط شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی به حوضچه آرامش، به میزان مورد نظر رسانده شد و سپس با تنظیم دقیق و هم‌زمان شیرفلکه و دریچه پایین‌دست، عمق جریان ۱۳ سانتی‌متر و دبی مورد نظر حاصل شد. پس از گذشت شش ساعت که زمان تعادل رسوبات در اطراف آبشکن محسوب می‌شود، با خاموش کردن پمپ و بستن دریچه انتهایی، آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شد تا تأثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. سپس برای برداشت توپوگرافی در لبه جلویی آبشکن‌ها در جهت طولی و عرضی، از یک دستگاه عمق‌سنج با دقت ۰/۰۲ میلی‌متری برای اندازه‌گیری و برداشت پروفیل بستر استفاده می‌شود. این دستگاه بر روی ریل‌های کنار کانال در جهت طولی و عرضی قادر به حرکت و برداشت است. به منظور بررسی دقیق تغییرات ایجاد شده در بستر در امتداد طولی و عرضی فاصله نقاط برداشت ۱/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

طبق توصیه ملویل و چپو به منظور کاهش اثر عمق جریان در حفره آبستنگی باید  $y_0/L_a > 1$  انتخاب شود (۱۳). بنابراین در این تحقیق کلیه آزمایش‌ها در عمق ثابت ۱۳ سانتی‌متر انجام شد. با توجه به اینکه آبستنگی موضعی در شرایط آب زلال انجام شد، لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست آبشکن، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت آستانه حرکت ( $u < u_c$ ) باشد. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی ۰/۹۳ بود. لذا کلیه آزمایش‌ها در چهار دبی ۱۷، ۲۰، ۲۳ و ۲۷ لیتر بر ثانیه انجام شد و دبی مورد نیاز توسط سرریز مثلثی ۶۰ درجه در ابتدای ورودی فلوم اندازه‌گیری شد.

با توجه به توصیه رادکیوی و اتما برای جلوگیری از تشکیل ریپل، قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد (۱۵). همچنین برای حذف اثر اندازه رسوبات روی عمق آبستنگی، انحراف معیار ذرات باید کمتر از ۱/۳ باشد. لذا در انجام آزمایش‌ها از رسوبات دارای اندازه متوسط دو میلی‌متر و انحراف معیار ۱/۳ استفاده شد.

در ابتدای هر آزمایش پس از نصب مدل آبشکن در قوس بیرونی و در موقعیت ۷۰ درجه، با قرار دادن رسوبات با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر در بستر و در اطراف آبشکن، با استفاده



شکل ۳. آبشکن شکافدار و آبشستگی در اطراف آن بعد از آزمایش

اطراف آن می‌شود، همچنین در دو ارتفاع شکاف، حداقل آبشستگی در فاصله نسبی ۰/۲۵ و حداکثر آن در فاصله نسبی ۰/۷۵ در مقایسه با فواصل دیگر مشاهده می‌شود.

با توجه به اینکه محل برخورد جریان به آبشکن بیشتر در دماغه رخ می‌دهد، لذا وجود شکاف در نزدیکی دماغه آبشکن و عبور جریان از درون شکاف، باعث کاهش جریان‌های گردابی در محل دماغه جلویی آبشکن می‌شود. در اثر برخورد جریان به آبشکن قدرت جریان‌های گردابی در نزدیکی دماغه بیشتر بود که با ایجاد شکاف در نزدیکی دماغه و عبور جریان‌های گردابی کاهش یافت و آبشستگی در اطراف دماغه نیز کمتر می‌شود. هر چقدر که فاصله شکاف از دماغه بیشتر شود، عبور جریان‌های گردابی کمتر و قدرت آنها بیشتر می‌شود. به منظور مقایسه تأثیر شکاف بر عمق آبشستگی در آبشکن شکافدار در تحقیق حاضر با سایر محققین، از نتایج تحقیقات حسن‌پور و همکاران استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد وجود شکاف باعث کاهش عمق آبشستگی در اطراف آبشکن می‌شود (۳).

#### بررسی اثر شدت جریان بر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن شکافدار

شکل‌های (۶) و (۷) پروفیل‌های طولی و عرضی بدون بعد و عمق نسبی آبشستگی در شرایط نصب شکاف در فاصله نسبی

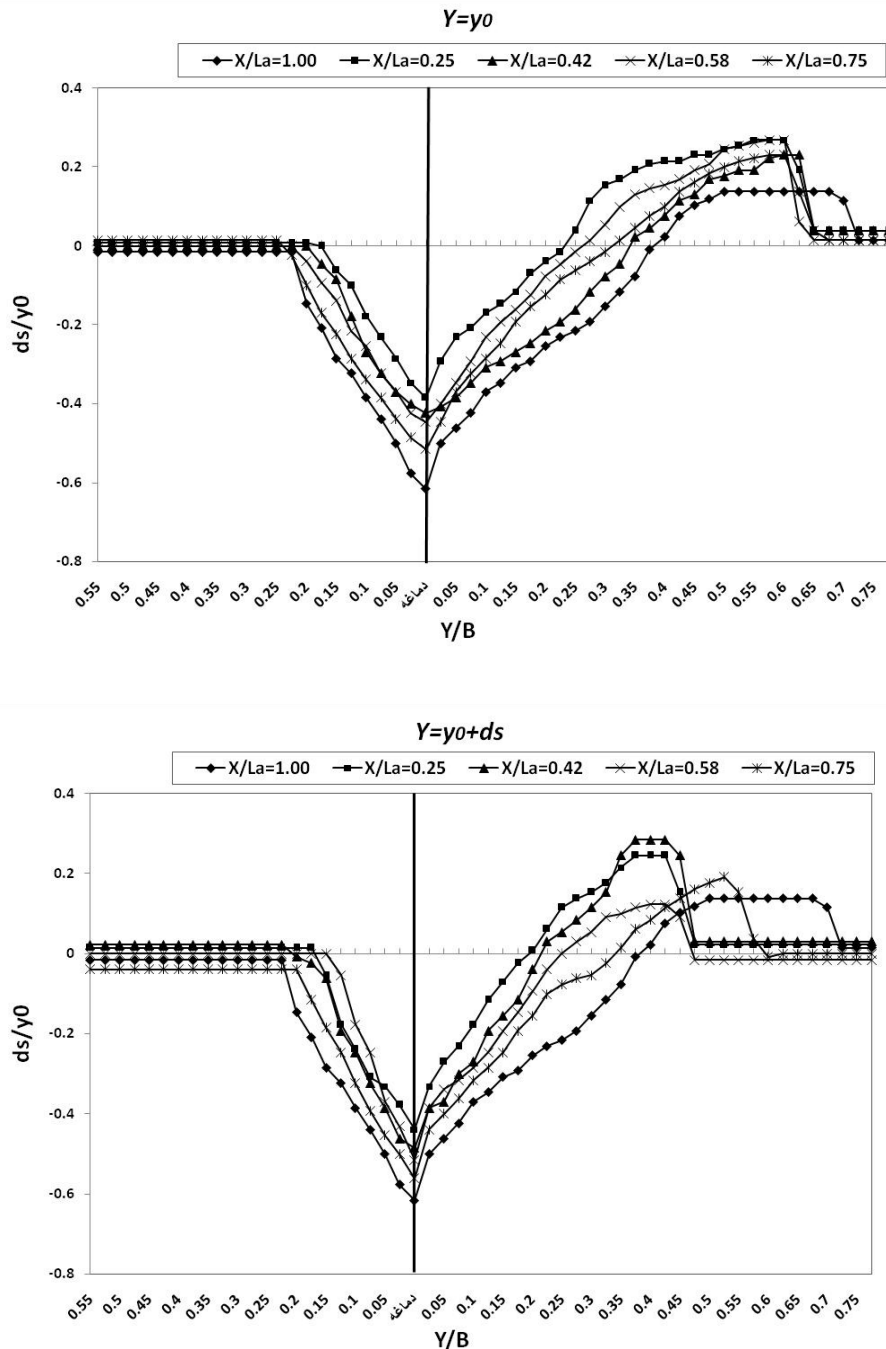
#### نتایج و بحث

در کلیه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف آبشکن شکافدار گردابه‌ها تشکیل و آبشستگی با سرعت بسیار بالا آغاز شد. با شکل‌گیری حفره آبشستگی، رسوب‌های برخاسته از حفره به سمت پایین‌دست منتقل شدند. پس از مدتی از شروع آزمایش، رسوبات برخاسته از حفره آبشستگی به محدوده‌ای می‌رسند که تأثیر آبشکن شکافدار بر آن محدوده کاهش یافته است و اثر گردابه‌های پشت آبشکن ناچیز می‌شود. در این وضعیت رسوبات انتقالی از حفره آبشستگی تحت تأثیر جریان ثانویه به سمت پایین‌دست منتقل شد (شکل ۳). جدول (۱) نتایج حاصل از آزمایش‌ها ارائه شده است.

بررسی اثر فاصله نسبی شکاف از دماغه آبشکن بر آبشستگی شکل‌های (۴) و (۵) پروفیل‌های طولی و عرضی آبشستگی در اطراف آبشکن شکافدار برای دبی ۲۷ لیتر بر ثانیه و در فاصله نسبی ۰/۲۵، ۰/۴۲، ۰/۵۸ و ۰/۷۵ از دماغه جلویی با عرض شکاف ثابت و با دو ارتفاع شکاف  $Y = y_0 + ds$  و  $Y = y_0$  در دو حالت با شکاف و بدون شکاف ارائه شده است. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد وجود شکاف در بدنه آبشکن در مقایسه با حالت بدون شکاف باعث کاهش آبشستگی در

جدول ۱. نتایج حاصل از آزمایش‌ها در دبی و فاصله نسبی شکاف مختلف

ds (cm)	Fr	V (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	y <sub>o</sub> (cm)	X/L <sub>a</sub>	X (cm)
۳/۲	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۱۷			
۴/۷	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲۰	۱۳	بدون شکاف	-
۶/۴	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۲۳			
۸/۰	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۷			
۱/۰	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۱۷			
۲/۷	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲۰	۱۳	۰/۲۵	۳
۳/۲	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۲۳			
۵/۰	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۷			
۲/۱	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۱۷			
۳/۶	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲۰	۲۱	۰/۲۵	۳
۴/۶	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۲۳			
۵/۷	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۷			
۱/۲	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۱۷			
۳/۲	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲۰	۱۳	۰/۴۲	۵
۳/۵	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۲۳			
۵/۵	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۷			
۲/۵	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۱۷			
۳/۸	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲۰	۲۱	۰/۴۲	۵
۴/۸	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۲۳			
۶/۳	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۷			
۱/۳	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۱۷			
۳/۴	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲۰	۱۳	۰/۵۸	۷
۴/۰	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۲۳			
۵/۸	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۷			
۲/۷	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۱۷			
۳/۹	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲۰	۲۱	۰/۵۸	۷
۵/۳	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۲۳			
۶/۷	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۷			
۱/۷	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۱۷			
۳/۸	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲۰	۱۳	۰/۷۵	۹
۴/۶	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۲۳			
۶/۸	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۷			
۲/۹	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۱۷			
۴/۵	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۲۰	۲۱	۰/۷۵	۹
۵/۵	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۰۲۳			
۷/۳	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۰۲۷			

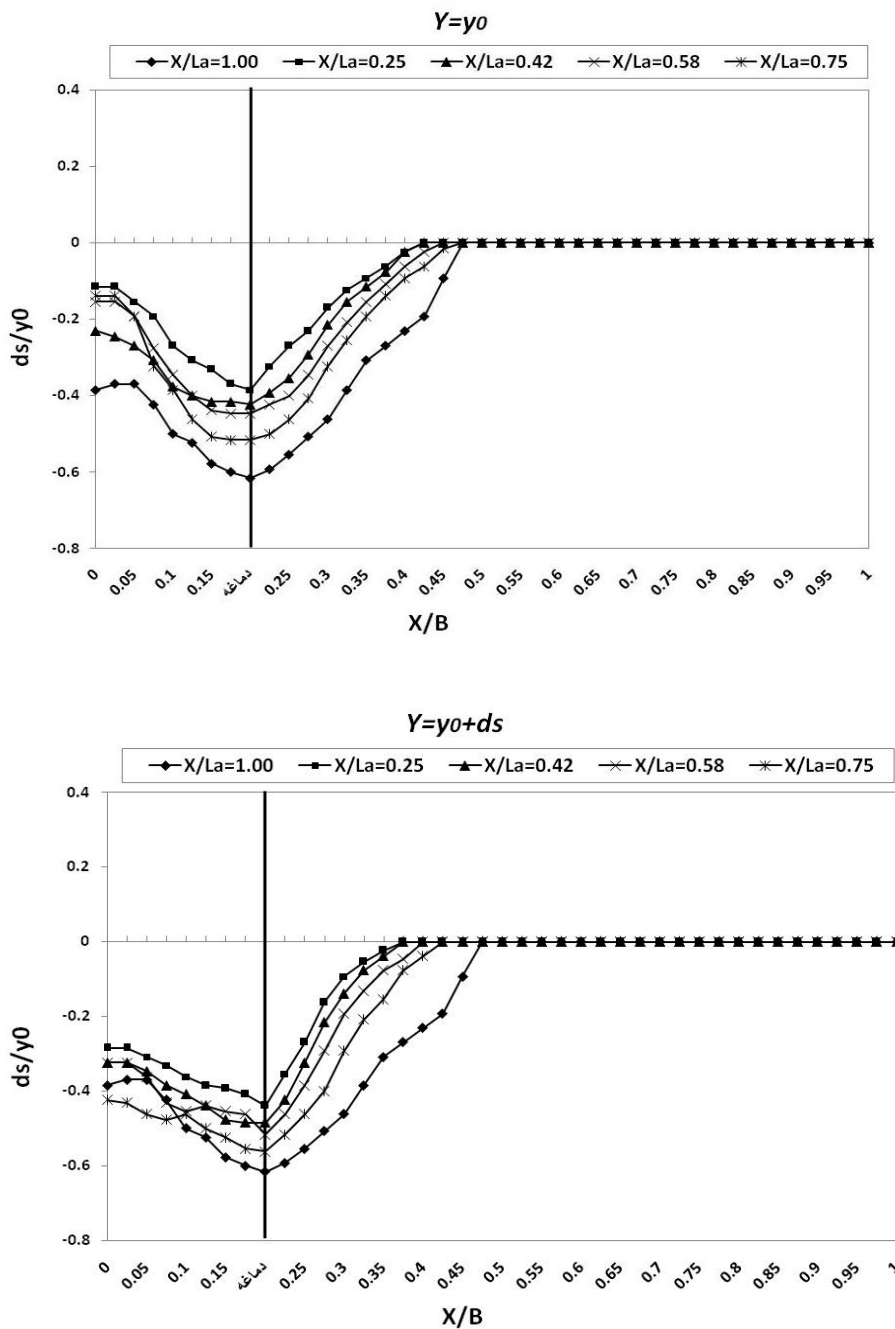


شکل ۴. پروفیل‌های طولی در چهار فاصله شکاف از دماغه آبشکن و دو ارتفاع مختلف

افزایش می‌یابد. افزایش شدت جریان در کانال اصلی باعث افزایش سرعت جریان در کانال اصلی شده و در نتیجه باعث افزایش جریان‌های گردابی در نزدیکی دماغه جلویی آبشکن می‌شود، افزایش جریان‌های گردابی باعث افزایش توان حمل رسوب از اطراف آبشکن به سمت پایین‌دست آن می‌شود. در

۰/۲۵ از دماغه جلویی در چهار شدت جریان ۱۷، ۲۰، ۲۳ و ۲۷ لیتر بر ثانیه و در دو ارتفاع شکاف نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد شدت جریان با عمق آبستگي در اطراف آبشکن نسبت مستقیم دارد و با افزایش شدت جریان در شرایط وجود شکاف در بدنه آبشکن، عمق آبستگي نسبی



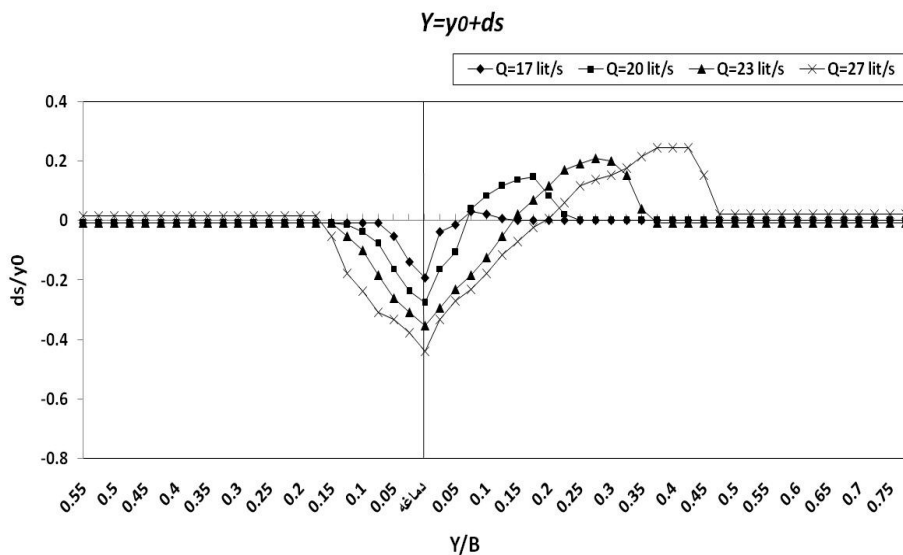
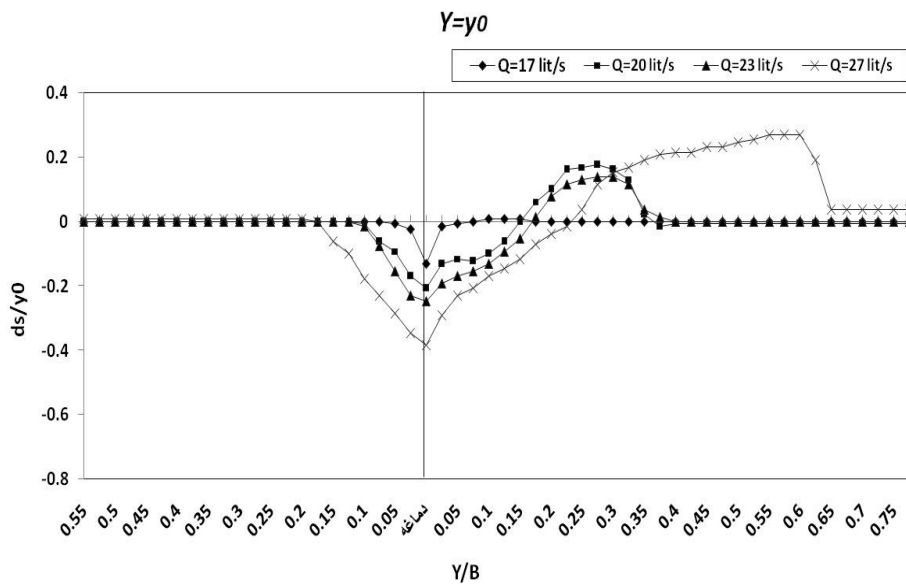


شکل ۵. پروفیل‌های عرضی در چهار فاصله نسبی شکاف از دماغه آبشکن و دو ارتفاع مختلف

همانند عمق حداکثر آبشستگی با افزایش شدت جریان، افزایش می‌یابد (۴).

بررسی اثر ارتفاع شکاف در بدنه آبشکن بر عمق آبشستگی شکل‌های (۸) و (۹) پروفیل‌های طولی و عرضی بدون بعد و

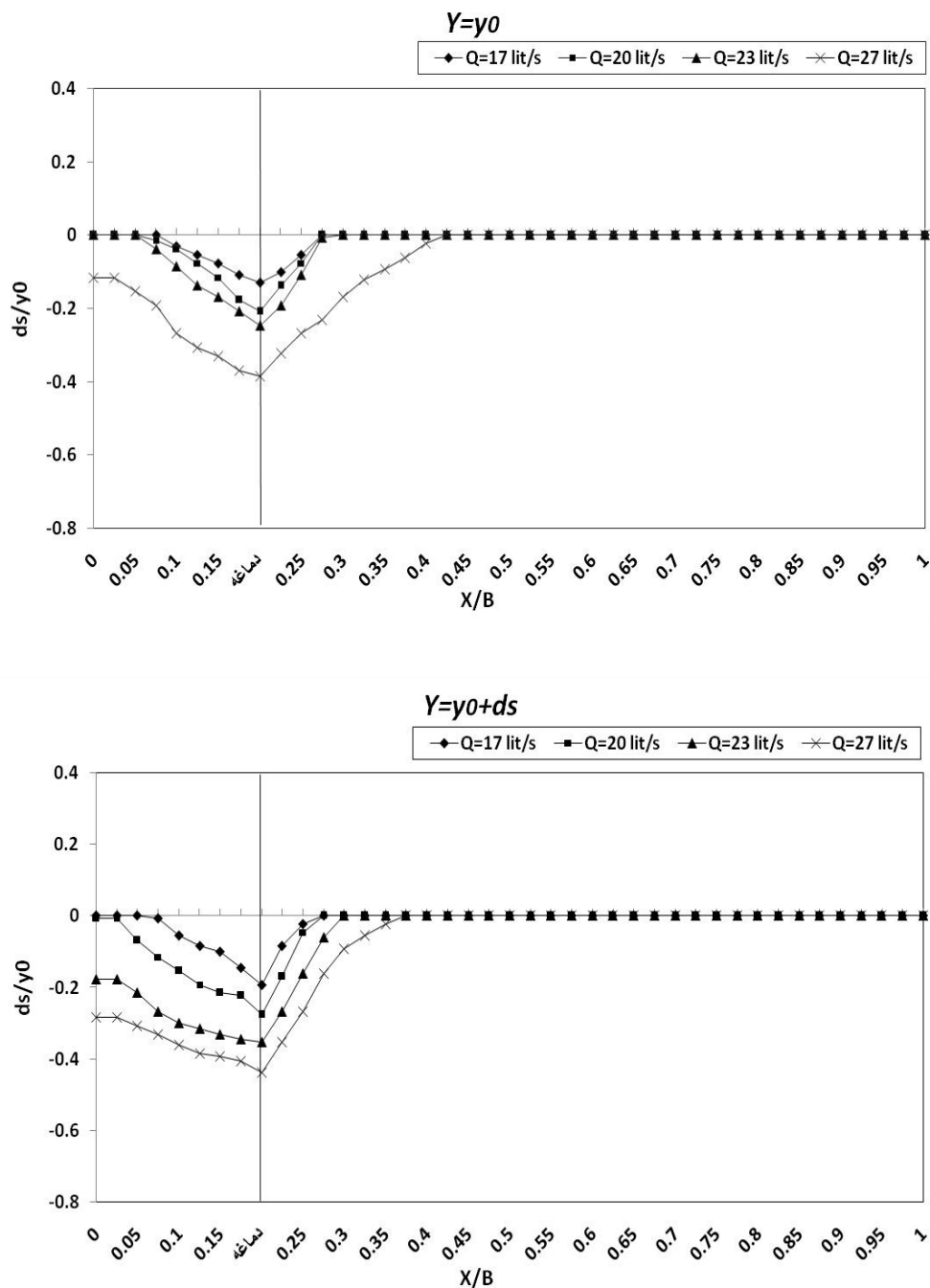
نتیجه افزایش شدت جریان باعث ایجاد چاله در اطراف آبشکن و رسوب‌گذاری در پایین‌دست می‌شود. به‌منظور مقایسه تأثیر شدت جریان بر عمق آبشستگی در آبشکن شکاف‌دار در تحقیق حاضر با سایر محققین، از نتایج تحقیقات مسجدی و مرادی استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد ابعاد چاله آبشستگی نیز



شکل ۶. پروفیل طولی چاله آبشستگی در دبی‌های مختلف

$Y = y_0$  کمتر از ارتفاع شکاف  $Y = y_0 + ds$  مشاهده می‌شود. با ایجاد شکاف تا سطح رسوبات ( $Y = y_0$ )، جریان‌های گردابی تشکیل شده در دماغه آبشکن از درون شکاف عبور کرده و به سمت پایین دست حرکت می‌کنند و قدرت جریان‌های گردابی در اطراف دماغه آبشکن نسبت به حالت بدون شکاف کمتر می‌شود. در نتیجه آبشستگی در اطراف آبشکن کمتر مشاهده می‌شود. درحالتی که ارتفاع شکاف در

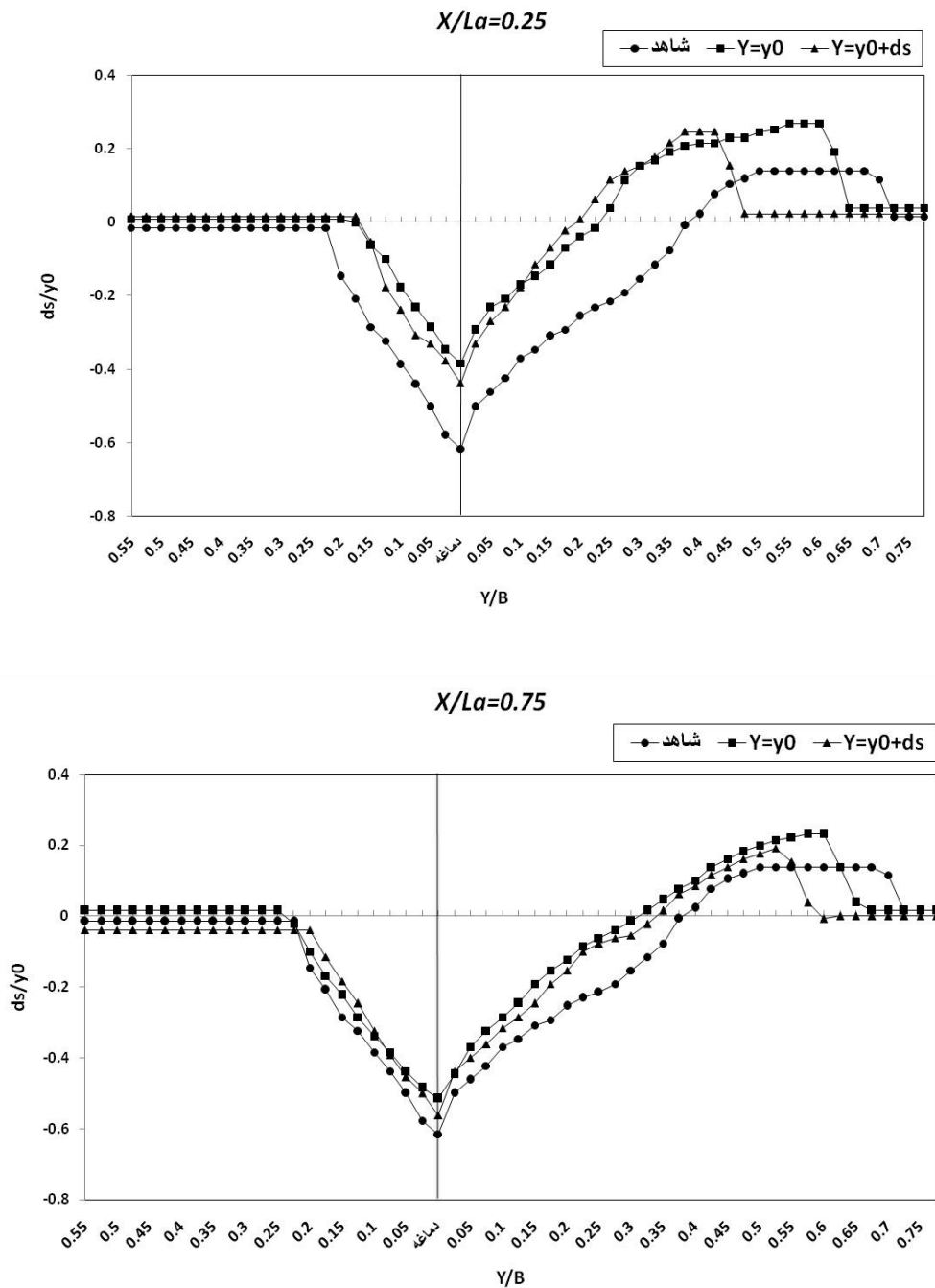
عمق نسبی آبشستگی در شرایط نصب شکاف در فاصله نسبی ۰/۲۵ و ۰/۷۵ از دماغه جلویی و در حالت بدون شکاف در دو ارتفاع شکاف با دبی ثابت ۲۷ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد وجود شکاف در بدنه آبشکن در دو ارتفاع مختلف، در مقایسه با حالت بدون شکاف (شاهد)، باعث کاهش آبشستگی در اطراف آن می‌شود. همچنین چاله آبشستگی در ارتفاع شکاف



شکل ۷. پروفیل عرضی چاله آبشستگی در دبی های مختلف

ارتفاع شکاف در بدنه آبشکن بر عمق آبشستگی در تحقیق حاضر با سایر محققین، از نتایج تحقیقات حسن پور و همکاران استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می دهد ارتفاع شکاف نیز بر عمق آبشستگی تأثیر دارد (۳).

زیر سطح رسوب باشد ( $Y = y_0 + ds$ )، آبشستگی در اطراف شکاف و دماغه تا قسمت های پایین سطح بستر به دلیل وجود شکاف توسعه بیشتری می یابد و علیرغم کاهش جریان های گردابی در این حالت، چاله آبشستگی نسبت به حالت  $Y = y_0$  بیشتر می شود. به منظور مقایسه تأثیر

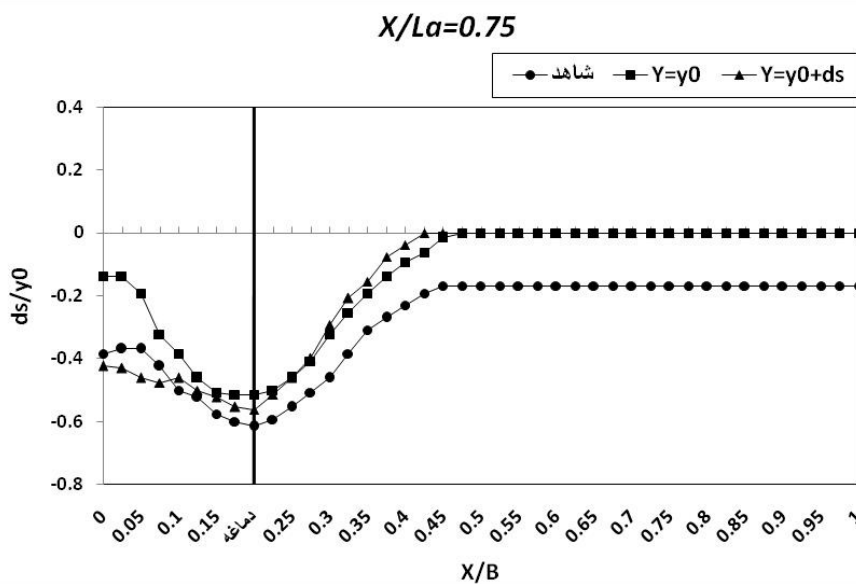
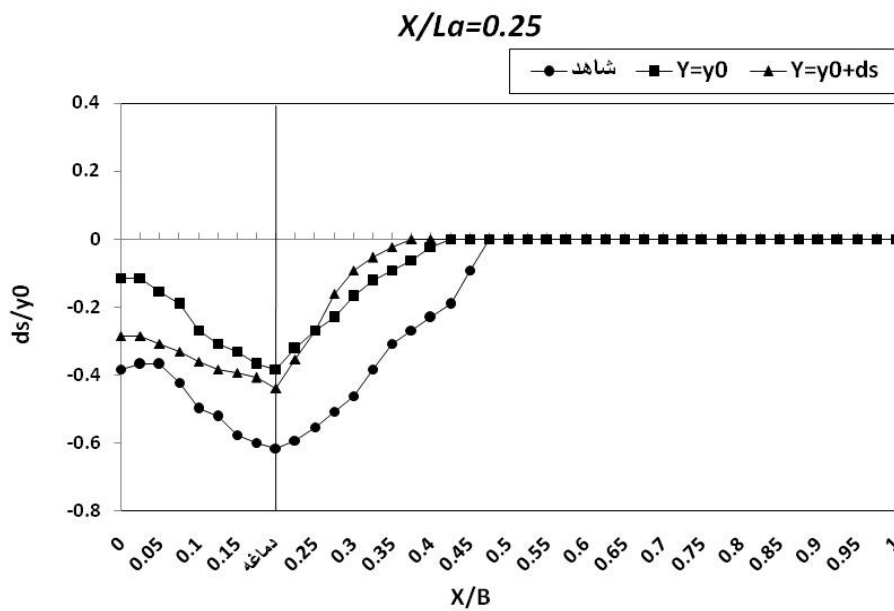


شکل ۸. پروفیل طولی چاله آب‌شستگی در دو ارتفاع شکاف مختلف

ثابت انجام شد. متغیرهای مؤثر در این تحقیق شدت جریان، فاصله شکاف از دماغه و ارتفاع شکاف بود. نتایج این تحقیق به صورت زیر بیان می‌شود:  
- وجود شکاف در بدنه آبشکن باعث کاهش آب‌شستگی در مقایسه با حالت بدون شکاف می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق آزمایش‌ها برای بررسی اثر شکاف در بدنه آبشکن در کاهش چاله آب‌شستگی و مقایسه آن با حالت بدون شکاف در قوس ۱۸۰ درجه در چهار شدت جریان مختلف، چهار فاصله شکاف از دماغه، دو ارتفاع شکاف و عرض شکاف



شکل ۹. پروفیل عرضی چاله آبشستگی در دو ارتفاع شکاف مختلف

$Y = y_0 + ds$  مشاهده شد.

### سپاسگزاری

از مساعدت مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به منظور قرار دادن امکانات، تسهیلات و کمک‌های مالی در این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

- وجود شکاف در نزدیکی دماغه آبشکن در فاصله نسبی ۰/۲۵ تأثیر بیشتری در کاهش چاله آبشستگی دارد و با افزایش این فاصله از دماغه، ابعاد چاله آبشستگی افزایش می‌یابد.
- با افزایش شدت جریان در کلیه حالات، چاله آبشستگی افزایش می‌یابد.
- در تمامی آزمایش‌ها، در حالتی که ارتفاع شکاف برابر  $Y = y_0$  باشد، چاله آبشستگی کمتر از ارتفاع شکاف

## منابع مورد استفاده

۱. ایزدی نیا، ا.، م. حیدرپور و ح. افضل‌المهر. ۱۳۸۷. بررسی اثر شکاف در کاهش آبشستگی گروه پایه های مستطیلی نوک گرد. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
۲. پیر محمدی، د. ۱۳۸۳. تأثیر شکاف بر پایداری سنگ چین در کنترل و کاهش آبشستگی موضعی پایه های پل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. حسن پور، ن.، م. عبدالله‌پور، پ. خسروی‌نیا و ع. حسین‌زاده دلیر. ۱۳۹۱. تأثیر شکاف در توسعه زمانی آبشستگی در اطراف آبشکن. نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴. مسجدی، ع.، ا. مرادی. ۱۳۸۶. بررسی آزمایشگاهی تأثیر مکان قرارگیری آبشکن بر میزان آبشستگی دماغه آن در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات اهواز.
۵. نوری‌فر، م.، م. فغفور مغربی و ی. حسن‌زاده. ۱۳۸۹. مقایسه عددی کاهش آبشستگی موضعی اطراف پایه پل شکاف دار و در پایه پل مجزا. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.
6. Barbhuiy, A. K. and S. Dey. 2004. Local scour at abutments. A Review. *Sadhana* 29(5): 449-476.
7. Chiew, Y. M. 1992. Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 118(9): 1260-1269.
8. Coleman, S. E., C. S. Lauchlan and B. W. Melville. 2003. Clear-water Scour development at Bridge Abutments. *Journal of Hydraulic Research, IAHR* 41(5): 521-531.
9. Donant, M. 1995. Bio Engineering Techniques for Stream Bank Restoration. A Review of Central European Practices. Watershed Restoration Project Report. No 2. University of British Columbia. Austria.
10. Heidarnejad, M., M. Shafai Bajestan and A. Masjedi. 2010. The effect of slots on scouring around piers in different positions of 180-degree bends. *Journal of World Applied Science* 8(7): 862-899.
11. Heidarpour, M., H. Afzalimehr and A. Z. Khodarahmi. 2007. Local scour protection of bridge pier groups using slot. *Journal of Agriculture Science Nature Resource* 14(3): 174-185.
12. 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, ASCE* 125(12): 1302-1305.
13. Melville, B. W. and Y. M. Chiew. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 125(1): 59-65.
14. Moncada, A. T., P. E. J. Aguirre, J. C. Bolivar and E. J. Flores. 2009. Scour protection if circular bridge piers with collar and slots. *Journal of Hydraulic Research, IAHR* 47(1): 119-126.
15. Raudkivi, A. J. and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 109(3): 339-350.
16. Tafarajnoruz, A., R. Gaudio and F. Calomino. 2012. Evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour. *Journal of Hydrology Engineering* 138(8): 297-305.

## An Investigation into the Effect of Slot in Spur Dike on the Development of Scouring Around it in a 180-Degree Bend

**B. Jafari and A. Masjedi<sup>1\*</sup>**

(Received: May 24-2016 ; Accepted: December 4-2017)

### **Abstract**

In this study, the performance of slot in the spur dike was evaluated as a way to reduce the scouring around the installed flat spur dike in a 180 degree bend and the development of scouring in the slotted spur dike was compared with that of the spur dike with no slot. To evaluate the effect of the slot on the development of scouring around it, a flat spur dike made of Plax Glass was installed in a position of 70 degrees from a bend (180 degrees) in the flume bed. After determining the maximum of scouring depth at the tip, to reduce the scouring around the spur dike, two slots with the determined height were placed in 4 different positions in the spur dike. Experiments with 4 different discharges and constant flow depth in clear water conditions were conducted. The results of the experiments showed that the created the slot reduced the scouring depth toward the spur dike. In both slots, the minimum of scouring depth was seen in a model with the closest position of the slot toward tip, and its maximum was seen in a model with the farthest position from the slot.

**Keywords:** Spur dike, Slot, Scour depth, 180 degree bend

---

1. Department of Water Science and engineering, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: drmasjedi.2007@yahoo.com