

## بررسی آزمایشگاهی اثر طول آبشکن‌های نفوذپذیر بر روی ابعاد چاله آبستگی در شرایط غیر مستغرق در قوس 90 درجه ملایم

مریم چام پور<sup>1\*</sup>، سید محمود کاشفی پور<sup>2</sup>

تاریخ دریافت: 94/02/23

تاریخ پذیرش: 95/02/11

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>2</sup> استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [maryam\\_champour@yahoo.com](mailto:maryam_champour@yahoo.com)

### چکیده

یکی از روش‌های متداول کنترل فرسایش کناری در قوس رودخانه‌ها استفاده از آبشکن است. آبشکن با تغییر الگوی جریان و منحرف کردن جریان به سمت محور رودخانه مانع از فرسایش ساحل رودخانه می‌گردد و از سوی دیگر الگوی جدید جریان که با سرعت بالاتری تشکیل شده، باعث آبستگی در اطراف آبشکن می‌شود. طول آبشکن یکی از پارامترهای مهم مؤثر بر آبستگی در اطراف آبشکن است. به منظور بررسی اثر طول آبشکن با نفوذپذیری 33% در قوس بر فرایند آبستگی، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس 90 درجه ملایم با  $R/B=4$  و مقطع عرضی مستطیلی انجام پذیرفت. در این تحقیق با قرار دادن سری آبشکن‌های نفوذپذیر با سه طول 10/5، 14 و 17/5 سانتی‌متر معادل 0/15، 0/2 و 0/25 عرض فلوم، با اعداد فرود 0/21، 0/23، 0/26 و 0/28 و عمق ثابت 14 سانتی‌متر در شرایط آب زلال، پدیده آبستگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد با افزایش طول آبشکن‌های نفوذپذیر، میزان بیشینه عمق چاله آبستگی در اطراف آبشکن‌ها در عدد فرود ثابت جریان افزایش می‌یابد، به طوری که بیشترین عمق آبستگی در آبشکن با طول 17/5 سانتی‌متر می‌باشد که 10/71 درصد بیشتر از آبشکن با طول 14 سانتی‌متر و 42/86 درصد بیشتر از آبشکن با طول 10/5 سانتی‌متر است. بیشترین مقدار آبستگی، در ناحیه انتهایی قوس خارجی به وقوع پیوسته است. همچنین با افزایش عدد فرود در هر سه مقدار طول آبشکن، نیز بیشینه عمق آبستگی و ابعاد چاله آبستگی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آبستگی، آبشکن نفوذپذیر، طول آبشکن، عدد فرود، قوس رودخانه

## Laboratory Investigation on the Effect of Permeable Spur Dike Length on Scour Hole Dimensions in a Mild 90 Degrees Bend under Non-Submerged Conditions

M Champour<sup>1\*</sup>, SM Kashefipour<sup>2</sup>

Received: 13 May 2015

Accepted: 30 April 2016

<sup>1</sup>M.Sc Student of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engin., Shahid Chamran Univ., Ahvaz, Iran

<sup>2</sup>Prof., Faculty of Water Sciences Engin., Shahid Chamran Univ., Ahvaz, Iran

\* Corresponding Author, Email: [maryam\\_champour@yahoo.com](mailto:maryam_champour@yahoo.com)

### Abstract

One of the common ways for bank protection against erosion along rivers' bends is spur dike application. Spur dike changes the flow pattern and diverts it towards the river centerline and as a result protect the river bank from erosion. However, a new flow pattern is formed with higher velocities and this phenomenon causes the local scour around the structure nose to be increased. The length of spur dike is one of the important parameters affecting the local scour around the structure. In order to investigate the effect of the permeable spur length (permeability was 33%) on local scour, experiments were conducted in a rectangular laboratory flume with a mild 90 degree bend ( $R/B=4$ ; where  $R$ =radius and  $B$ =flume width). In this research a series of spur dikes with three different spur length including 10.5, 14.0 and 17.5 cm, corresponding to 0.15, 0.2 and 0.25 of flume width, respectively, was installed along the bend for each experiment. Four Froude number values including 0.21, 0.23, 0.26 and 0.28 with a constant flow depth of 14cm under clear water condition were applied for each spur length. The results show that the maximum scour depth increased with increasing the spur length for a constant Froude number; so that the maximum scour depth was happened for the length of 17.5cm with a Froude number of 0.28, which was 10.71% and 42.86% more than the spurs with 14.0m and 10.5cm length, respectively. The maximum local scour was observed to happen at the end part of the outer bank of the bend. It was generally found that with increasing Froude number and the spur length the scour hole dimensions increased.

**Keywords:** Froude number, Local scour, Permeable spur, River bend, Spur dike length

### مقدمه

خطوط جریان تأثیر گذاشته و باعث تغییر در الگوی جریان رودخانه و انحراف جریان از دیواره‌های فرسایش‌پذیر به وسط رودخانه شده و کناره‌ها را از خطر فرسایش محافظت می‌نمایند. با ایجاد ناحیه سکون در بین دو آبشکن و کاهش سرعت جریان از شدت برخورد آن با دیواره‌ها کاسته و در حقیقت قابلیت رسوب‌گذاری جریان را در ساحل رودخانه افزایش می‌دهند. آبشکن‌ها به دو صورت نفوذپذیر و نفوذناپذیر ساخته می‌شوند. نفوذپذیری آبشکن موجب میرا شدن سرعت جریان گردیده و ته‌نشینی رسوبات را تسهیل می‌نماید. ولی آبشکن‌های نفوذناپذیر باعث دفع جریان یا

از مشکلات اساسی در قوس رودخانه‌ها، ایجاد جریان‌های ثانویه و فرسایش دیواره خارجی قوس بوده که با احداث آبشکن در قوس خارجی می‌توان الگوی جریان را به نحوی اصلاح کرد تا از فرسایش کناره‌ها جلوگیری شود. یکی از روش‌های غیرمستقیم و معمول در کنترل فرسایش کناری و حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها استفاده از اپی یا آبشکن می‌باشد. در این روش یک سری آبشکن به‌طور متوالی و زاویه‌دار با مسیر جریان رودخانه ساخته می‌شوند. این آبشکن‌ها از یک سمت به ساحل رودخانه متصل شده و تا مسافتی در داخل بستر رودخانه به جلو می‌آیند. این سازه‌ها بر

حول آبشکن در حالت آب زلال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشینه عمق آبشستگی هنگام نصب آبشکن در نیمه اول قوس (از صفر تا 90 درجه) کمتر از نیمه دوم قوس (90 تا 180 درجه) می‌باشد. همچنین ابعاد چاله آبشستگی نیز همانند عمق بیشینه آبشستگی با جابجایی آبشکن از نیمه اول به نیمه دوم قوس افزایش می‌یابد. موسوی و قدسیان (1389) تأثیر انحنای نسبی کانال را بر آبشستگی بستر در خم 90 درجه مطالعه کردند. آزمایش‌ها در فلوم قوسی 90 درجه با عرض 60 سانتی‌متر انحنای نسبی (R/B) برابر 2، 3 و 4 تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت انجام شد. نتایج نشان داد که در بیشتر آزمایش‌ها محل بیشینه عمق آبشستگی با افزایش دبی و عدد فرود جریان و با گذشت زمان، به سمت پایین‌دست منتقل می‌شود. محل وقوع بیشینه عمق آبشستگی در موقعیت حدود 90-60 درجه از ابتدای قوس و در بیشتر موارد در زاویه 90-80 بود. با کم شدن انحنای نسبی، حفره آبشستگی به سمت وسط مقطع و تپه رسوب‌گذاری به طرف دیوار داخلی حرکت می‌کرد به علاوه عمق حفره آبشستگی در ساحل خارجی نیز کاهش می‌یافت. در بیشتر آزمایش‌ها با کاهش انحنای نسبی، عمق آبشستگی افزایش می‌یافت. مشکورنیا و همکاران (1389) به بررسی تأثیر طول سازه آبشکن مستغرق بر میزان آبشستگی ساحل خارجی در قوس 90 درجه پرداختند. در این تحقیق تعداد 7 آبشکن مستغرق با فاصله ثابت 32 سانتی‌متر از هم و با ارتفاع ثابت 5 سانتی‌متر (یک سوم ارتفاع آب جریان یافته در فلوم آزمایشگاهی) و با طول‌های 6، 8 و 10 سانتی‌متر (معادل 0/15، 0/2 و 0/25 درصد عرض فلوم) در ساحل قوس خارجی جای‌گذاری شد و در حالتی که اعداد فرود جریان نزدیک‌شونده به قوس برابر با 0/25 و 0/3 بود آزمایش‌ها انجام گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با افزایش عدد فرود میزان آبشستگی نیز افزایش می‌یابد، همچنین بیشترین عمق آبشستگی که در حوالی رأس قوس (زاویه 90 درجه) رخ داده است در آبشکن مستغرق 10

تغییر جهت جریان می‌شوند. آبشکن‌های نفوذپذیر به علت نداشتن بدنه صلب، آسیب‌پذیری کمتری نسبت به تغییر شکل محدود دارند. همچنین به علت عدم تغییر شکل ناگهانی خطوط جریان، جریان‌های گردابی با شدت کمتری از آبشکن‌های نفوذناپذیر به وجود می‌آید و در نتیجه آبشستگی موضعی محدودتر خواهد بود ولی آبشکن‌های نفوذناپذیر مقاومت کافی در مقابل نیروهای ناگهانی اعمالی از سوی اجسام خارجی مانند یخ‌های شناور، کنده‌های چوب و ... ندارند. آبشکن‌های نفوذپذیر سازگاری خوبی با شرایط استغراق دارند و برخلاف آبشکن‌های نفوذناپذیر، اختلال شدیدی در الگوی جریان ایجاد نمی‌کنند. در آبشکن‌های نفوذپذیر جریان‌های گردابی به گونه‌ای که در آبشکن‌های صلب متداول است، مشاهده نمی‌گردند. آبشکن‌های نفوذپذیر اغلب از جنس نی، الوار چوبی و یا شمع‌های ساخته‌شده از بتن مسلح بوده و در مواردی از لوله‌های فولادی ساخته می‌شوند، در حالی که آبشکن‌های غیر قابل نفوذ از مصالح سنگی نظیر لاشه‌سنگ، قلوه‌سنگ و یا قطعات توری سنگ (گابیون) ساخته می‌شوند (بی‌نام 1387). قدسیان (1385)، تحقیقاتی در خصوص بررسی موقعیت و طول آبشکن بر آبشستگی اطراف آن در قوس 90 درجه انجام دادند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بیشینه عمق آبشستگی هنگام نصب آبشکن در نیمه اول قوس کمتر از نیمه دوم قوس می‌باشد. همچنین ابعاد چاله آبشستگی نیز همانند عمق بیشینه آبشستگی با جابجایی آبشکن از نیمه اول به نیمه دوم قوس افزایش می‌یابد. مسجیدی و مرادی (1388)، به منظور بررسی اثر موقعیت نصب آبشکن در قوس بر فرایند آبشستگی، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس 180 درجه با  $R_c/B=4/7$  ( $R_c$  شعاع مرکزی قوس،  $B$  عرض فلوم) از جنس پلکسی گلاس انجام دادند. در این تحقیق با قرار دادن یک آبشکن در فلوم آزمایشگاهی با موقعیت‌های 30، 60، 90، 120، 150 و 160 درجه با دبی‌های 20، 24 و 28 لیتر بر ثانیه و عمق ثابت جریان 13 سانتی‌متر پدیده آبشستگی

انجام پذیرفت. هدف اصلی بررسی اثر طول و زاویه قرارگیری آبشکن بر عمق آبشستگی در جهت به کمینه رساندن فرسایش می‌باشد. نتایج آزمایش نشان داد که در هر چهار طول آبشکن، کمینه آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها در زاویه قرارگیری 30 درجه و بیشینه عمق آبشستگی در زاویه 75 درجه رخ داده است. با افزایش طول آبشکن و نیز عدد فرود بیشینه عمق آبشستگی افزایش می‌یابد.

مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقات بر روی آبشکن‌های نفوذناپذیر در قوس استوار بوده و از آنجا که مقدار جریان عبوری از درون آبشکن باز تأثیر به‌سزایی بر میزان آبشستگی اطراف آبشکن دارد لذا ضروری است تا تحقیق بر روی آبشکن‌های نفوذپذیر در قوس انجام شود. در این تحقیق، با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی آبشکن‌های نفوذپذیر، بیشینه ابعاد چاله آبشستگی برای طول‌های مختلف آبشکن و به‌ازای دبی‌های مختلف بررسی گردیده است.

### مواد و روش‌ها

#### تحلیل ابعادی

پارامترهای متعددی در عملکرد آبشکن‌ها و آبشستگی اطراف آن‌ها مؤثر می‌باشد. عوامل مؤثر در این زمینه عبارت‌اند از:

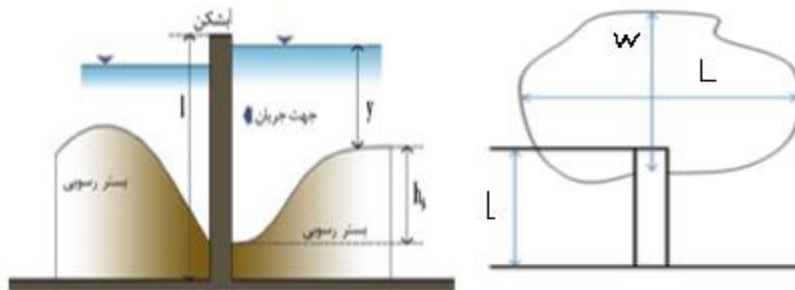
- 1- عوامل مربوط به هندسه کانال: شیب طولی فلوم ( $S_b$ )، عرض کانال (B)، شعاع قوس (R)، زاویه مرکزی قوس ( $\alpha$ ).
- 2- عوامل مربوط به هندسه آبشکن‌ها: فاصله بین آبشکن‌ها (a)، طول مؤثر آبشکن‌ها ( $L_e$ )، زاویه اتصال آبشکن به دیواره قوس خارجی ( $\theta$ )، ارتفاع آبشکن‌ها (h)، نفوذپذیری آبشکن‌ها ( $\phi$ ).
- 3- عوامل مربوط به هیدرولیک جریان: سرعت متوسط جریان (U)، عمق جریان (Y)، شتاب ثقل

سانتی‌متر کمترین مقدار را داشته که طول زیاد این آبشکن موجب دور کردن هرچه بیشتر جریان غالب از ساحل خارجی شده است. حسین‌زاده تبریزی و همکاران (1391) به بررسی آزمایشگاهی اثر عدد فرود جریان بر آبشستگی و تغییرات توپوگرافی بستر در مسیر مستقیم به دلیل استقرار آبشکن T شکل در قوس 90 درجه پرداختند. تغییرات توپوگرافی بستر، چاله فرسایشی، عمق رسوب‌گذاری پایین‌دست تحت تأثیر عدد فرود و زاویه قرارگیری آبشکن‌ها نسبت به ساحل مجاور بالادست مدنظر قرار گرفته است. نتایج به طور کلی بیان‌گر کاهش ابعاد چاله فرسایشی و حجم چاله با کاهش عدد فرود می‌باشند. فضلی و همکاران (2008) به بررسی تأثیر متغیرهای طول آبشکن و عدد فرود جریان و نحوه شکل‌گیری الگوی جریان اطراف آبشکن‌های مستقیم پرداختند. ژنگ و ناکاگوا (2008) با انجام آزمایش‌هایی بر روی تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر و مقایسه آبشستگی اطراف این دو نوع آبشکن، به این نتیجه رسیدند که بیشینه عمق آبشستگی اطراف آبشکن نفوذپذیر، به میزان 50% از آبشکن نفوذناپذیر کمتر است. قدسیان و واقفی (2009) با تغییر دادن طول و طول بال آبشکن و عدد فرود جریان به بررسی میدان جریان و آبشستگی اطراف آبشکن‌های T شکل در یک قوس 90 درجه ملایم پرداختند و با تحلیل داده‌های سرعت سه‌بعدی حاصل از آزمایش‌ها نتیجه گرفتند که با قرار دادن آبشکن در موقعیت‌های مختلف یک گردابه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت در بالادست و یک گردابه در جهت خلاف عقربه‌های ساعت در پایین‌دست آبشکن ظاهر می‌شود، همچنین افزایش طول بال آبشکن‌ها سبب افزایش طول ناحیه جدایی جریان و افزایش اندازه گردابه‌های ایجاد شده می‌گردد. مسجدی و همکاران (2011) به بررسی عمق آبشستگی در اطراف آبشکن‌های L شکل در خم 180 درجه تحت شرایط آب زلال پرداختند. در این تحقیق آبشکن‌ها با طول‌ها و موقعیت‌های مختلف در خم قرار گرفته و با اعداد فرود مختلف آزمایش‌ها

با توجه به این‌که قطر متوسط مصالح در تمام آزمایش‌ها یکسان بود و اثر پارامتر سرعت در عدد فرود جریان لحاظ شده است، بنابراین عدد فرود ذره از متغیرهای بدون بعد کنار گذاشته شد. همچنین با توجه به ثابت بودن عرض فلوم، زاویه قرارگیری آبشکن، ارتفاع آبشکن، نفوذپذیری و فاصله آبشکن‌ها مقادیر  $B, \theta, h, \phi, a$  در کلیه آزمایش‌ها یکسان خواهد بود و از آنجا که آزمایش‌ها در یک فلوم قوسی 90 درجه ملایم با شعاع ثابت انجام شده لذا مقادیر  $R, \alpha, S_b$  برای کلیه آزمایش‌ها مقداری ثابت است؛ و نیز با توجه به اینکه اثر پارامتر سرعت در فرود جریان لحاظ شده است و آشفتگی کامل جریان در کلیه آزمایش‌ها از پارامتر  $Re, \frac{U}{U_c}$  صرف‌نظر گردید. در نهایت رابطه 3 به دست آمد.

$$\frac{ds}{Y}, \frac{W}{Y}, \frac{L}{Y} = f(Fr, \frac{Le}{Y}) \quad [3]$$

شکل 1 ابعاد چاله آبشستگی را نشان می‌دهد.



شکل 1- نمایش ابعاد چاله آبشستگی.

توسط کانال مستقیم دیگری به طول 3 متر که باعث جلوگیری از تأثیر پایین‌دست بر الگوی جریان در قوس می‌گردد، به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن خروجی متصل می‌شود. جنس دیواره‌ها در کانال مستقیم از شیشه و در کانال قوسی از پلکسی گلاس ساخته شده است. شکل 2 نمایی از فلوم مورد استفاده را نشان می‌دهد.

- (g)، بیشینه عمق چاله آبشستگی ( $d_s$ )، عرض چاله آبشستگی (W)، طول چاله آبشستگی (L).  
 4- عوامل مربوط به رسوبات بستر: قطر متوسط رسوبات ( $D_{50}$ )، چگالی مصالح بستر ( $G_s$ )، سرعت آستانه حرکت رسوبات ( $U_c$ ).  
 5- عوامل مربوط به سیال: لزوجت سیال ( $\mu$ )، جرم مخصوص سیال ( $\rho$ ).

پارامترهای فوق به صورت تابع زیر نوشته می‌شود:

$$F(S_b, B, R, \alpha, a, L_e, \theta, h, \phi, U, Y, g, d_s, W, L, \mu, \rho, D_{50}, G_s, U_c) = 0 \quad [1]$$

با انتخاب  $\rho, Y, U$  به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش باکینگهام پارامترهای بدون بعد به صورت رابطه 2 به دست می‌آید:

$$\frac{ds}{Y}, \frac{W}{Y}, \frac{L}{Y} = f\left(\frac{B}{Y}, \frac{a}{Y}, \frac{L_e}{Y}, \frac{D_{50}}{Y}, \frac{U}{U_c}, \frac{h}{Y}, Re, Fr, S_b, \phi, \alpha, \theta, R\right) \quad [2]$$

### تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در یک کانال قوسی شکل با زاویه مرکزی 90 درجه در آزمایشگاه دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. کانال قوسی دارای مقطع مستطیلی با عرض 0/7 متر و نسبت شعاع مرکزی قوس به عرض فلوم ( $R/B = 4$ ) که در رده قوس‌های ملایم قرار گرفته انجام شده است. کانال مستقیم ورودی به طول 5 متر بوده که سبب می‌شود جریان ورودی به فلوم آرام باشد. این کانال قوسی شکل



شکل 2- نمایی از فلوم مورد استفاده.

### آبشکن نفوذپذیر

می‌شود که در آن شرایط جریان در فلوم کمتر از شرایط آستانه حرکت رسوبات باشد و لذا حرکت رسوب از بالادست محل آبشستگی وجود ندارد. سرعت آستانه حرکت رسوبات ( $U_c$ ) که با استفاده از دیاگرام شیلدن برابر  $0/35$  متر بر ثانیه محاسبه گردید. بنابراین به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست آبشکن، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی ( $U < U_c$ ) شد که اعداد فرود  $0/21$ ،  $0/23$ ،  $0/26$  و  $0/28$  معادل ( $U < U_c$ )  $0/71$ ،  $0/77$ ،  $0/88$  و  $0/94$  در کلیه آزمایش‌ها انتخاب گردید.

### نحوه انجام آزمایش‌ها

در این تحقیق اثر طول سری آبشکن‌های نفوذپذیر در سه مقدار  $L_1=10/5$ ،  $L_2=14$  و  $L_3=17/5$  سانتی‌متر معادل  $0/15$ ،  $0/2$  و  $0/25$  عرض فلوم بر روی ابعاد چاله آبشستگی مورد بررسی قرار گرفته است. دبی‌های مورد بررسی  $25$ ،  $27$ ،  $30$  و  $33$  لیتر بر ثانیه بوده که معادل اعداد فرود  $0/21$ ،  $0/23$ ،  $0/26$  و  $0/28$  می‌باشد. عمق جریان در کلیه آزمایش‌ها معادل  $14$  سانتی‌متر ثابت در

آبشکن‌ها با استفاده از دو صفحه به جنس پلکسی گلاس به ضخامت یک سانتی‌متر که این صفحات توسط لیزر به فواصل معین و متناسب با نفوذپذیری موردنظر (33%) سوراخ شده و سپس با نصب مفتول‌های برنجی به قطر 4 میلی‌متر بین آن دو، مدل آبشکن بازساخته گردید.

به توصیه راودکیوی و اتما (1983) برای جلوگیری از تشکیل ریپل قطر متوسط ذرات باید از  $0/7$  میلی‌متر بزرگتر باشد. با توجه به این موارد یک‌لایه از ماسه طبیعی رودخانه با قطر متوسط معادل  $1/5$  میلی‌متر ضریب انحراف استاندارد معادل  $1/22$  انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی 20 سانتی‌متر جهت انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

طبق توصیه الیوتر و هاگر (2002) برای جلوگیری از اثرات زبری عمق آب را بیشتر از 20 میلی‌متر پیشنهاد نموده‌اند که در کلیه آزمایش‌ها عمق آب ثابت و برابر با 14 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال ( $0/95 < U/U_c$ ) بررسی گردید. شرایط آب زلال به شرایطی اطلاق

عمق ثابت 14 سانتی‌متر انجام شد که نتایج آن‌ها در این بخش ارائه خواهد شد. در جدول 2، خلاصه نتایج بدست آمده در این تحقیق آورده شده است.

جدول 1- شرایط هیدرولیکی و هندسی آزمایش.

پارامتر	محدوده تغییرات
دبی جریان (Q)	25-27-30-33 ( $L S^{-1}$ )
عمق جریان	14 (cm)
نفوذپذیری	%33
عدد فرود	0/21-0/23-0/26-0/28
متوسط ذرات رسوبی ( $D_{50}$ )	1/5(mm)
طول مؤثر بی‌بعد شده ( $L_e/Y$ )	0/75- 1- 1/25



شکل 3- نمایی از فلوم قوسی به همراه آبشکن‌های نصب شده.

نظر گرفته شد. که در مجموع، تعداد 12 آزمایش با شرایط ذکر شده در جدول 1 انجام شده است. آبشکن‌های نفوذپذیر با فاصله ثابت ( $S/L=4$ ) و با زاویه 90 درجه عمود بر دیواره قوس خارجی فلوم نصب گردیدند. در ابتدای هر آزمایش کف فلوم از ماسه طبیعی با دانه‌بندی یکنواخت و با قطر متوسط معادل 1/5 میلی‌متر پوشیده و توسط شابلون تسطیح می‌گردید. آب به آرامی از بالادست وارد و عمق آب توسط دریچه کشویی پایین دست کنترل می‌گردید. دبی جریان توسط دبی‌سنج اولتراسونیک مدل Digi Sonic E+ اندازه‌گیری می‌شد. طبق تحقیقات قبلی صورت گرفته در فلوم مورد استفاده، نتیجه گرفته شد که حدود بیش از 90 درصد عمق آبشستگی با قطر رسوبات  $D_{50} = 1/49$  میلی‌متر در 180 دقیقه ابتدایی آزمایش‌ها اتفاق می‌افتد (بهرامی، 1393). بعد از گذشت 180 دقیقه معادل زمان تعادل، پمپ خاموش می‌گردید و مدت زمان حدود 1 ساعت طول می‌کشید تا جریان به صورت تدریجی بدون تغییر در توپوگرافی ایجاد شده، خارج و بستر فلوم زهکشی شود. بلافاصله بعد از زهکشی کامل فلوم، به منظور تعیین ابعاد چاله آبشستگی (طول  $L$ ، عرض  $W$  و بیشینه عمق آبشستگی  $d_s$ ) در اطراف آبشکن‌ها، توپوگرافی بستر با استفاده از متر لیزری با دقت یک میلی‌متر برداشت می‌گردید. فواصل مقاطع جهت اندازه‌گیری بستگی به تغییرات توپوگرافی بستر داشته و در فواصل نزدیک به آبشکن‌ها نقاط بیشتری برداشت می‌شد. شکل 3 نمایی از فلوم و آبشکن‌های نصب شده در آن ملاحظه می‌گردد.

### نتایج و بحث

هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر طول آبشکن‌های نفوذپذیر در سه مقدار  $L_1 = 10/5$ ،  $L_2 = 14$  و  $L_3 = 17/5$  سانتی‌متر در قوس 90 درجه ملایم می‌باشد. آزمایش‌ها در هر سه مقدار طول با چهار دبی 25، 27، 30 و 33 لیتر بر ثانیه معادل اعداد فرود 0/21، 0/23، 0/26 و 0/28 و

بیشینه طول آبشستگی نسبی ( $L/Y$ )، بیشینه عرض آبشستگی نسبی ( $W/Y$ ) می باشد.

در جدول 2، ستون های 2 الی 6 از راست به چپ به ترتیب نشان دهنده طول مؤثر بی بعد شده آبشکن ( $Le/Y$ )، عدد فرود جریان ( $Fr$ )، بیشینه عمق آبشستگی نسبی ( $ds/Y$ )،

جدول 2- خلاصه نتایج تحقیق.

شماره آزمایش	$Le/Y$	$Fr$	$ds/Y$	$L/Y$	$W/Y$
1	0/75	0/21	0/08	0/29	0/64
2	1	0/21	0/10	0/76	1/29
3	1/25	0/21	0/24	0/86	1/43
4	0/75	0/23	0/09	0/50	0/79
5	1	0/23	0/23	1/01	1/50
6	1/25	0/23	0/26	1/07	1/71
7	0/75	0/26	0/29	0/93	1/43
8	1	0/26	0/37	1/43	1/89
9	1/25	0/26	0/39	1/71	2/29
10	0/75	0/28	0/32	1/14	1/86
11	1	0/28	0/50	1/75	2/21
12	1/25	0/28	0/56	2/14	3/04

### تأثیر طول مؤثر آبشکن بر تغییرات بیشینه عمق چاله آبشستگی

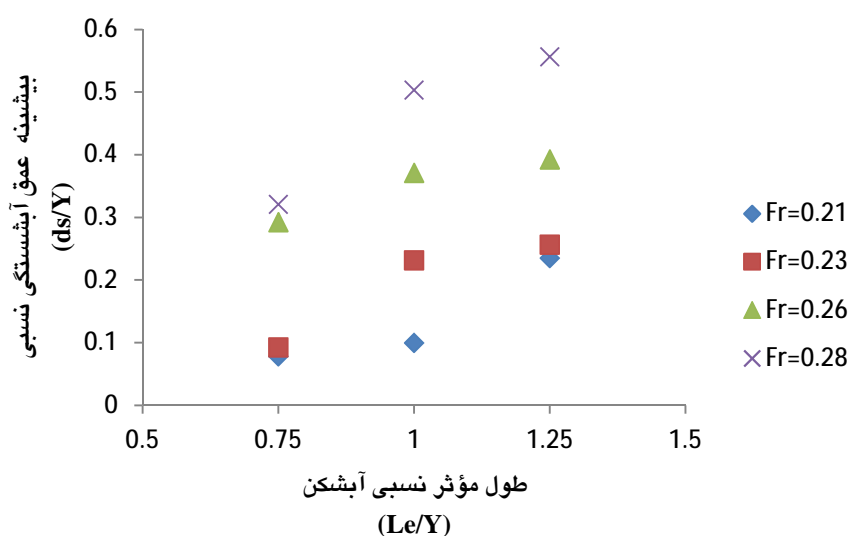
از جمله پارامترهای مهمی که بر بیشینه عمق آبشستگی در اطراف آبشکن و نیز توپوگرافی بستر تأثیر مستقیم دارد طول آبشکن است. شکل 4 تغییرات بیشینه عمق چاله آبشستگی نسبی را نسبت به طول مؤثر نسبی آبشکن در

اعداد فرود مختلف نشان می دهد. از مقایسه عمق آبشستگی در هر سه حالت طول، برای تمامی اعداد فرود می توان نتیجه گرفت که با افزایش طول آبشکن بر میزان عمق آبشستگی افزوده می شود. علت این امر آن است که با افزایش طول آبشکن میزان تنگ شدگی مقطع بیشتر شده در نتیجه میزان انحراف ایجاد شده در جریان و تنش



و کمترین مقدار بیشینه عمق آبستگي می‌باشند. با توجه به نتایج ارائه شده، بیشینه عمق آبستگي نسبی در عدد فرود 0/28 در حالت آبشکن با طول 17/5 سانتی‌متر معادل 0/56 برابر عمق جریان می‌باشد که 10/71 درصد بیشتر از حالت آبشکن با طول 14 سانتی‌متر و 42/86 درصد بیشتر از حالت آبشکن با طول 10/5 سانتی‌متر است.

برشی بستر در اطراف آبشکن افزایش می‌یابد؛ که موجب افزایش میزان آبستگي می‌گردد. با توجه به شکل مشاهده می‌گردد که در اعداد فرود 0/21 و 0/23 روند تغییرات بیشینه عمق آبستگي بیش از اعداد فرود 0/26 و 0/28 می‌باشد یعنی در اعداد فرود 0/21 و 0/23 اثر طول مؤثر آبشکن بر بیشینه عمق آبستگي بیش از اعداد 0/26 و 0/28 است. علاوه بر آن در هر عدد فرود، آبشکن با طول 17/5 و 10/5 سانتی‌متر دارای بیشترین



شکل 4- تأثیر طول مؤثر نسبی آبشکن بر تغییرات بیشینه عمق چاله آبستگي در اعداد فرود مختلف.

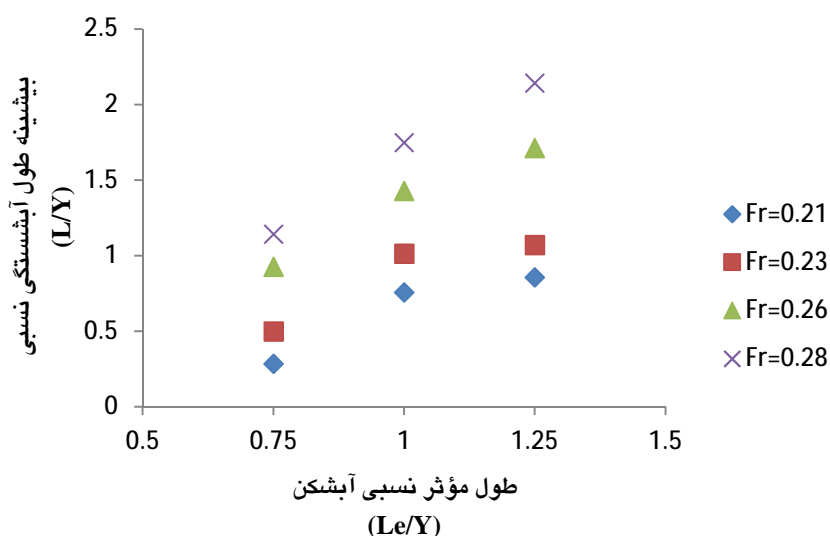
می‌گردد تغییرات طول چاله آبستگي در اعداد فرود مختلف برای آبشکن با طول مؤثر 10/5 به 14 سانتی‌متر افزایش چشمگیری داشته ولی با افزایش طول مؤثر آبشکن از 14 به 17/5 سانتی‌متر طول چاله آبستگي افزایش کمی داشته است. به طوری که در عدد فرود 0/21 مشاهده می‌گردد، با افزایش طول مؤثر از 10/5 به 14 سانتی‌متر، طول چاله آبستگي 61/84 درصد افزایش یافته است در حالی که با افزایش طول مؤثر از 14 به 17/5 سانتی‌متر، طول چاله آبستگي 11/63 درصد افزایش یافته است. در دیگر اعداد فرود نیز مشابه همین روند است. بیشینه طول چاله آبستگي نسبی در عدد فرود 0/28 در حالت آبشکن با طول 17/5 سانتی‌متر معادل 2/14

#### تأثیر طول مؤثر آبشکن بر تغییرات بیشینه طول چاله آبستگي

شکل 5 تغییرات بیشینه طول چاله آبستگي نسبی را نسبت به طول مؤثر نسبی آبشکن در اعداد فرود مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌گردد با افزایش طول آبشکن در هر چهار عدد فرود، بیشینه طول چاله آبستگي افزایش می‌یابد. به این علت که با افزایش طول آبشکن، آبستگي بیشینه و ابعاد چاله آبستگي از جمله طول چاله آبستگي بیشتر می‌شود. در عدد فرود ثابت، بیشترین و کمترین طول چاله آبستگي به ترتیب مربوط به آبشکن با طول 17/5 و 10/5 سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه شده، مشاهده

0/21 به 0/28 به میزان 74/56 درصد و آبشکن با طول 14 سانتی متر به میزان 56/57 درصد و نیز آبشکن با طول 17/5 سانتی متر به میزان 59/81 درصد افزایش یافته است.

برابر عمق جریان می باشد که 18/22 درصد بیشتر از حالت آبشکن با طول 14 سانتی متر و 46/73 درصد بیشتر از حالت آبشکن با طول 10/5 سانتی متر است. آبشکن با طول 10/5 سانتی متر تغییرات بیشینه طول چاله آبشستگی از عدد فرود

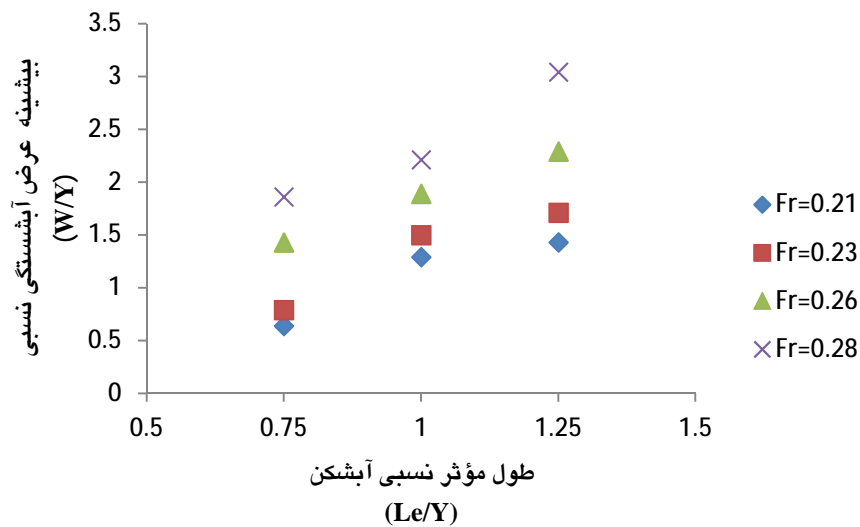


شکل 5- تأثیر طول مؤثر آبشکن بر بیشینه طول چاله آبشستگی در اعداد فرود مختلف.

آبشکن با طول مؤثر 14 به 17/5 سانتی متر، افزایش کمی داشته است. به طوری که در عدد فرود 0/21 مشاهده می گردد، با افزایش طول مؤثر آبشکن از 10/5 به 14 سانتی متر، عرض چاله آبشستگی 50/39 درصد افزایش یافته در حالی که با افزایش طول مؤثر آبشکن از 14 به 17/5 سانتی متر عرض چاله آبشستگی 9/79 درصد افزایش یافته است. در دیگر اعداد فرود نیز مشابه همین روند است. بیشینه عرض چاله آبشستگی نسبی در عدد فرود 0/28 در حالت آبشکن با طول 17/5 سانتی متر معادل 3/04 برابر عمق جریان می باشد که 27/30 درصد بیشتر از حالت آبشکن با طول 14 سانتی متر و 38/82 درصد بیشتر از حالت آبشکن با طول 10/5 سانتی متر است. تغییرات بیشینه عرض چاله آبشستگی از عدد فرود 0/21 تا 0/28 در آبشکن با طول 10/5 سانتی متر به میزان 65/59 درصد و در آبشکن با طول 14 سانتی متر به میزان 41/63 درصد و نیز در آبشکن با طول 17/5 سانتی متر به میزان 52/96 درصد افزایش یافته است.

### تأثیر طول مؤثر آبشکن بر تغییرات بیشینه عرض چاله آبشستگی

شکل 6 تغییرات بیشینه عرض چاله آبشستگی نسبی را نسبت به طول مؤثر نسبی آبشکن در اعداد فرود مختلف نشان می دهد. با توجه به شکل مشاهده می گردد با افزایش طول آبشکن در هر چهار عدد فرود، بیشینه عرض چاله آبشستگی افزایش می یابد. به این علت که با افزایش طول آبشکن، میزان تنگ شدگی مقطع بیشتر شده و باعث افزایش طول ناحیه جدایی جریان در بالادست آبشکن می گردد. در نتیجه افزایش جریان های عرضی در بالادست آبشکن، قدرت جریان ثانویه را افزایش داده و باعث گسترش عرضی چاله آبشستگی می گردد. با توجه به نتایج ارائه شده، مشاهده می گردد که تغییرات عرض چاله آبشستگی در اعداد فرود مختلف برای آبشکن با طول مؤثر 10/5 به 14 سانتی متر، افزایش چشمگیری داشته در حالی که تغییرات عرض چاله آبشستگی برای

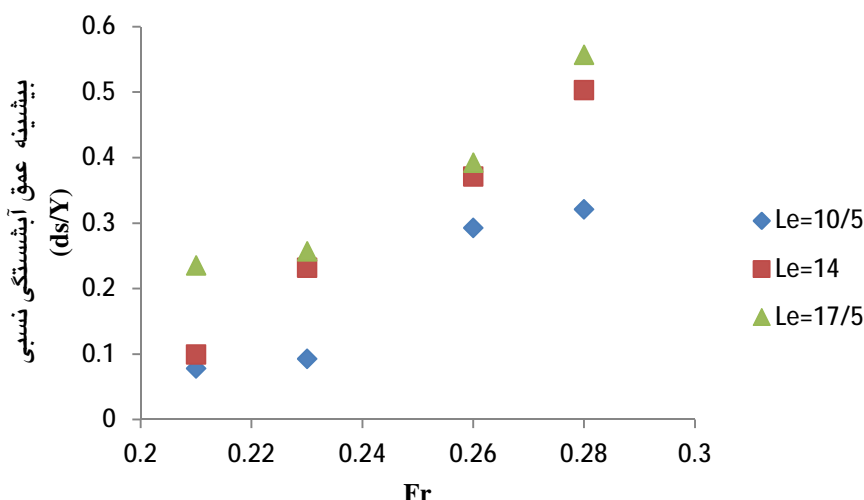


شکل 6- تأثیر طول مؤثر آبشکن بر بیشینه عرض چاله آبشستگی در اعداد فرود مختلف.

عمق چاله آبشستگی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش عدد فرود، تمرکز تنش در ناحیه تنگ‌شدگی مقطع (محل استقرار آبشکن) بیشتر و در نتیجه تغییرات توپوگرافی بستر ناشی از آبشستگی موضعی محسوس‌تر می‌باشد؛ و نیز با افزایش عدد فرود جریان و در نتیجه قدرت حمل رسوبات ابعاد چاله آبشستگی در محل استقرار آبشکن افزایش می‌یابد. با توجه نتایج ارائه شده، در آبشکن با طول 10/5 سانتی‌متر تغییرات بیشینه عمق آبشستگی در عدد فرود 0/21 به 0/28 به میزان 75 درصد افزایش و نیز در آبشکن با طول 14 سانتی‌متر به میزان 80 درصد و در آبشکن با طول 17/5 سانتی‌متر نیز به میزان 57/14 درصد افزایش یافته است.

#### تأثیر عدد فرود بر تغییرات بیشینه عمق چاله آبشستگی

دبی جریان به تبع آن عدد فرود در این مطالعه به عنوان پارامتر متغیر می‌باشد. شکل 7 تغییرات بیشینه عمق آبشستگی را نسبت به اعداد فرود در سه طول 10/5، 14 و 17/5 سانتی‌متر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، با افزایش عدد فرود، بیشینه عمق آبشستگی به میزان بیش از دو برابر افزایش یافته و این روند برای سه طول آبشکن صادق است. علت این امر آن است که با زیاد شدن عدد فرود سرعت جریان بیشتر شده و همچنین تنش برشی اعمالی از طرف جریان افزایش و در نتیجه



شکل 7- تأثیر عدد فرود جریان بر میزان بیشینه عمق آبشستگی نسبی.

#### نتیجه‌گیری کلی

- در این تحقیق اثر طول سری آبشکن‌های نفوذپذیر در قوس 90 درجه ملایم بر روی ابعاد چاله آبشستگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده به شرح ذیل می‌باشند:
- با افزایش طول مؤثر آبشکن، بیشینه عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. در هر عدد فرود، آبشکن با طول 17/5 و 10/5 سانتی‌متر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار بیشینه عمق آبشستگی می‌باشند.
- بیشینه طول چاله آبشستگی نسبی در عدد فرود 0/28 در حالت آبشکن با طول 17/5 سانتی‌متر معادل 2/14 برابر عمق جریان می‌باشد که 18/22 درصد بیشتر از حالت آبشکن با طول 14 سانتی‌متر و 46/73 درصد بیشتر از حالت آبشکن با طول 10/5 سانتی‌متر است.
- با افزایش عدد فرود، بیشینه عمق آبشستگی به میزان بیش از دو برابر افزایش یافته و این روند برای هر سه طول آبشکن صادق است.
- در طول قوس، با فاصله گرفتن از ابتدای قوس شدت جریان برخوردی به آبشکن‌ها بیشتر شده، در نتیجه بیشینه میزان آبشستگی در ناحیه انتهایی قوس رخ می‌دهد.

#### منابع مورد استفاده

- بهرامی یاراحمدی م، 1393. بررسی آزمایشگاهی ترتیب صفحات متصل به ساحل و تیغه افقی بر تغییرات توپوگرافی بستر در قوس 90 درجه. رساله دکتری تخصصی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

بی‌نام، 1387. مبانی طراحی سازه‌های کنترل فرسایش در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها. نشریه 417، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، تهران.

حسین‌زاده تبریزی ح، قدسیان م و واقفی م، 1391. تأثیر عدد فرود جریان و زاویه آبشکن‌های سرسپری سری بر توپوگرافی بستر در مسیر مستقیم. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه، دانشگاه ارومیه، ایران.

قدسیان م، 1385. بررسی موقعیت و طول آبشکن بر آبشستگی اطراف آن در قوس. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

مسجدی ع و مرادی آ، 1388. بررسی آزمایشگاهی اثر موقعیت تک آبشکن بر عمق آبشستگی اطراف آن در خم 180 درجه، مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، جلد 50، شماره 13، صفحه‌های 43 تا 51.

مشکورنیا ه، جراح زاده ف، رامش س و شفاعةی بجستان م، 1389. بررسی تأثیر طول سازه‌ی آبشکن مستغرق بر میزان آبشستگی ساحل خارجی در قوس 90 درجه. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه، دانشگاه تربیت مدرس.

موسوی ک و قدسیان م، 1389. بررسی آزمایشگاهی تأثیر شعاع انحنای نسبی کانال بر آبشستگی بستر در خم 90 درجه. فصل‌نامه مهندسی عمران مدرس، سال 10، شماره 2، صفحه‌های 135 تا 147.

Fazli M, Ghodsian M and Salehi Neyshabouri SAA, 2008. Scour and flow field around a spur dike in a 90° bend. *International Journal of Sediment Research* 23(1): 56-68.

Ghodsian M and Vaghefi M, 2009. Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T-shape spur dike in a 90° bend. *International Journal of Sediment Research* 24(2): 145-158.

Oliveto G and Hager WH, 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 128(9): 811-820.

Raudkivi AJ and Ettema R, 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 109(3): 339-350.

Masjedi A, Akbari I and Abyar H, 2011. Evaluating scour at L-shape spur dike in a 180 degree bend. *World Applied Sciences Journal* 15(12): 1740-1745.

Zhang H, Nakagawa H, 2008. Scour around Spur Dykes Recent Advances and Future Researches. *Annuals of Disas. prev. Res. Inst, Kyoto Univ. No 51B*.