

# بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذ پذیری سری آبشکن‌ها بر روی ابعاد چاله آبستگی در شرایط غیر مستغرق در قوس ۹۰ درجه ملایم

مریم شهابی<sup>۱\*</sup> و سید محمود کاشفی‌پور<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> - نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

<sup>۲</sup> - استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۷

## چکیده

یکی از روش‌های متداول سامان‌دهی و کنترل فرسایش کناری در قوس رودخانه‌ها، استفاده از آبشکن می‌باشد. در تحقیق حاضر، به بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذ پذیری سری آبشکن‌ها بر روی ابعاد چاله آبستگی در شرایط غیر مستغرق در قوس ۹۰ درجه با انحنای نسبی برابر با ۴، عرض ۰/۷ متر و عمق آب ۰/۱۴ متر پرداخته شد. نتایج تحقیق نشان داد که در اعداد فرود ثابت، با افزایش درصد نفوذ پذیری، آبستگی به میزان زیادی کاهش می‌یابد. برای نفوذ پذیری ۳۳ درصد، عمق، طول و عرض آبستگی نسبی در مقایسه با حالت نفوذ ناپذیر به ترتیب ۶۳/۹، ۳۸/۱ و ۳۵/۵ درصد کاهش یافت. همچنین، برای نفوذ پذیری ۶۴ درصد، عمق، طول و عرض آبستگی نسبی ۶۷/۱، ۸۸/۲ و ۵۳/۸ درصد کاهش یافت.

کلید واژه‌ها: آبشکن نفوذ پذیر، عدد فرود، ابعاد چاله آبستگی، عمق آبستگی.

## Experimental Investigation of The Effect of The Permeable Spur Dikes on Scour Hole Dimensions in a Mild 90 Degree Bend

M. Shahabi<sup>1\*</sup> and S.M. Kashefipour<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> - M.Sc Student of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

<sup>2</sup> - Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 8 March 2015

Accepted: 12 September 2015

## Abstract

Utilizing spur dikes is one of the common methods of organizing and controlling side erosion in river bends. In this research study the effect of permeability of spur dike on scour-hole dimensions was experimentally investigated in a flume with 0.7m width, having a 90 degree bend with relative curvature of 4.0 and water depth of 0.14m for non-submerged condition. The results indicated that for a constant Froude number, scour decreases significantly with increasing the percentage of spur permeability. For spur with 33% permeability the relative depth, length and width of scour-hole decreased 63.9, 38.1, and 35.5 percent, respectively in comparison with impermeable spur. The same results were obtained for spur with 64% permeability with 67.1, 88.2 and 53.8 percent, respectively.

**Keywords:** Permeable spur dike, Froude number, Scour hole dimensions, Depth of scour.

مقطع، به‌ویژه در قوس‌ها، امر بسیار مهمی بوده و تحقیقات زیادی را در سال‌های اخیر به‌خود اختصاص داده است. با توجه به شرایط خاص الگوی جریان در قوس رودخانه، فرسایش سواحل خارجی قوس و رسوب‌گذاری در محل قوس داخلی باعث تغییر تدریجی فرم رودخانه می‌شود که معضلات زیادی از نظر اجتماعی و اقتصادی فراهم می‌کند. از این رو، از دیرباز محققین زیادی

## مقدمه

رودخانه‌ها تحت تأثیر پدیده فرسایش و رسوب‌گذاری دست‌خوش تغییرات گوناگونی می‌شوند که از آن جمله می‌توان تغییر راستا، جابه‌جایی‌های عرضی و طولی، وقوع میانبرها، تغییر تراز بستر و دگرگونی ویژگی‌های هندسی مسیر را اشاره کرد. تغییرات

مطالعاتی را برای کنترل فرسایش در قوس خارجی شروع کرده‌اند که منجر به ایجاد روش‌های مختلف برای تثبیت ساحل رودخانه در محل قوس شده است. استفاده از آبشکن‌ها، از جمله روش‌های غیر مستقیم حفاظت از سواحل می‌باشد.

آبشکن‌ها، سازه‌های هیدرولیکی هستند که به صورت دیوارهای عرضی در کناره ساحل رودخانه ساخته شده و با دور کردن جریان از ساحل و متمرکز کردن آن در وسط، به حفاظت دیواره‌ها کمک می‌کنند. آبشکن‌ها به دو صورت نفوذپذیر و نفوذناپذیر ساخته می‌شوند. آبشکن‌های نفوذناپذیر سازه‌هایی هستند که قابلیت آبگذری جریان را نداشته و به عنوان عاملی غیرقابل نفوذ در مقابل جریان عمل می‌کنند. این آبشکن‌ها به این دلیل سبب تمرکز جریان و اغتشاش بیشتر در دماغه آبشکن‌ها می‌شوند و آبشستگی را افزایش می‌دهند. آبشکن‌های بسته جزو سازه‌های انحراف دهنده جریان محسوب می‌شوند. در مقابل آبشکن‌های نفوذپذیر، به دلیل اینکه بخشی از جریان را از خود عبور می‌دهند، باعث کاهش قدرت جریان پایین‌رونده شده و آشفستگی را در دماغه آبشکن کاهش می‌دهند. لذا، آبشکن‌های نفوذپذیر جزو سازه‌های آرام‌کننده جریان به حساب می‌آیند. در زمینه بررسی انواع آبشکن‌ها، تحقیقات متعددی صورت گرفته است. رزوفسکی<sup>۱</sup> (۱۹۶۱)، با انجام آزمایش‌هایی بر روی یک قوس ۹۰ درجه تند، به بررسی الگوی جریان پرداخت، نتایج تحقیق نشان داد که ناحیه وقوع حداکثر مقادیر سرعت جریان بعد از راس قوس، به سمت ناحیه بیرونی قوس متمرکز شده است. شریفی منش<sup>۲</sup> (۱۳۷۴)، با استفاده از مدل فیزیکی به انجام آزمایش‌هایی به منظور مطالعه حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های نفوذپذیر پرداخت. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان داد که هرچه درصد بازشدگی آبشکن بیشتر باشد، از میزان حداکثر عمق آبشستگی اطراف آن کاسته می‌شود. همچنین، در آبشکن بسته، حفره آبشستگی اطراف دماغه آبشکن می‌باشد و این در حالی است که در آبشکن باز، آبشستگی در طول آبشکن اتفاق می‌افتد. قدسیان و حسینی<sup>۳</sup> (۲۰۰۱)، با استفاده از فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۲ متر، عرض ۲ متر و عمق ۶۰ سانتی متر، به بررسی خصوصیات چاله فرسایشی اطراف آبشکن بسته پرداخت و رابطه‌هایی برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی، میزان گسترش آبشستگی به سمت بالا دست، به سمت پایین دست و در جهت محور آبشکن ارائه دادند. فضلی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۸)، تحقیقی در زمینه تأثیر فاصله آبشکن‌ها انجام دادند، نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که فاصله آبشکن‌ها، باعث به وجود آمدن تفاوت در گردابه‌های ایجاد شده و متناظر با آن شکل حفره آبشستگی بین دو آبشکن می‌گردد، با افزایش این فاصله، ضمن تفکیک محدوده تحت تأثیر گردابه‌ها، هر آبشکن دارای یک حفره آبشستگی مستقل می‌گردد. همچنین، با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، عمق حداکثر

آبشستگی در اطراف آبشکن دوم افزایش می‌یابد. در برخی موارد، حتی این عمق بیشتر از عمق حداکثر آبشستگی در اطراف آبشکن اول می‌گردد. این حالت مختص قوس بوده و در مسیر مستقیم اتفاق نمی‌افتد. ژانگ و ناکاگوا<sup>۴</sup> (۲۰۰۸)، با انجام آزمایش‌هایی تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر و مقایسه آبشستگی اطراف این دو نوع آبشکن، گزارش دادند که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن نفوذپذیر، حدود ۵۰ درصد از آبشکن نفوذناپذیر کمتر است. ژانگ و ناکاگوا<sup>۴</sup> (۲۰۰۹)، با انجام آزمایش‌هایی الگوی جریان و تغییرات بستر را در حضور آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر، در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که در آبشکن‌های نفوذپذیر، آبشستگی به دلیل جدایی جریان و گرداب‌های ایجاد شده در بین میله‌ها می‌باشد، در حالی که در آبشکن‌های نفوذناپذیر آبشکن‌های نفوذناپذیر آبشستگی به دلیل جدایی جریان و گرداب‌های نعل اسبی ایجاد شده در پشت آبشکن می‌باشد. گو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۱)، با انجام آزمایش‌هایی به بررسی انتقال رسوبات معلق در کانال، در حضور آبشکن‌های نفوذپذیر انتقال پرداختند. در این تحقیق، تأثیر نسبت  $S/L$  (S: فاصله بین آبشکن‌ها و L: طول آبشکن) روی خصوصیات جریان و رسوب، ساختار جریان‌های ثانویه و غلظت رسوبات معلق مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که رسوبات معلق بین آبشکن‌های نفوذپذیر به سمت پایین دست و به صورت یکنواخت توزیع می‌شود. همچنین، با افزایش نسبت  $S/L$ ، شدت تنش رینولدز نیز افزایش می‌یابد. عثمان و نجم‌الدین سعید<sup>۴</sup> (۲۰۱۲)، با انجام آزمایش‌هایی به بررسی اثر تنگ شدگی بر روی سری آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر با نسبت تنگ شدگی ۶۰ درصد، ۲/۶ برابر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های با نسبت تنگ شدگی ۸۰ درصد است و این نسبت برای آبشکن‌های نفوذپذیر با همان شرایط به میزان سه برابر می‌باشد. موسوی (۱۳۸۷)، با استفاده از مدل فیزیکی در بررسی اثر آبشکن‌ها در کنترل رسوب و کاهش فرسایش در قوس ۹۰ درجه به این نتیجه رسید که آبشکن‌های نفوذپذیر میله‌ای با تعداد میله بیشتر (نفوذپذیری کمتر)، در حفظ ساحل خارجی قوس مؤثرتر می‌باشند. همچنین، آبشکن‌هایی با تعداد میله کمتر (نفوذپذیری بیشتر)، سبب کاهش فرسایش در قسمت مرکزی کانال شده و دماغه آبشکن بهتر حفاظت می‌شود. کرمی و همکاران (۱۳۸۹)، با انجام یک سری آزمایش در فلوم آزمایشگاهی، به بررسی اثر زمان آبشستگی بر آبشستگی موضعی دماغه آبشکن، به ازای دبی‌های مختلف و دو نوع دانه بندی مصالح بستر پرداختند. نتایج آزمایش‌ها با کارهای قبلی انجام شده توسط محققان مختلف مقایسه شد و با اندازه‌گیری زمان، عمق آبشستگی و تحلیل داده‌های آزمایشگاهی، رابطه‌ای

2-Zhang and Nakagava

3-Gu et al.

4-Osman and Nagmoldin saeed

1-Rozovskii

2 - Ghodsian and Hosseini

3 - Fazli et al.

عمق آبستنگی در دماغه آبشکن ها تأثیر دارند، در رابطه (۱) بیان شده است:

$$h_s = f(\mu, \rho, \theta, G_s, B_1, B_2, Y, U, U_c, D_{50}, g, a, L, R, S, l, W, n) = 0 \quad (1)$$

بعد از تحلیل ابعادی به روش پای باکینگهام، پارامترهای بی بعد به صورت زیر معرفی شده است:

عوامل مربوط به هندسه کانال: عرض کانال در مقطع قبل از آبشکن  $B_1$ ، عرض کانال در مقطع تنگ شده  $B_2$ ، شیب کانال  $S$  و شعاع انحنا قوس  $R$ .  
عوامل مربوط به هندسه آبشکن: فاصله بین آبشکن ها  $a$ ، طول آبشکن  $L$ ، زاویه اتصال آبشکن به دیواره فوم  $\theta$  و درصد بازشدگی  $n$ .

عوامل مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان: سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از آبشکن  $U$ ، عمق جریان  $Y$ ، حداکثر عمق آبستنگی دماغه آبشکن  $h_s$ ، شتاب ثقل  $g$ ، طول توسعه چاله آبستنگی  $L$  و عرض توسعه چاله آبستنگی  $W$ .

عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط ذرات  $D_{50}$ ، چگالی مصالح بستر  $G_s$  و سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر  $U_c$ .

عوامل مربوط به خواص سیال: جرم مخصوص سیال  $\rho$  و لزجت دینامیکی  $\mu$ .

با انتخاب  $\rho$ ،  $Y$  و  $U$  به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش باکینگهام، پارامترهای بی بعد به صورت رابطه (۲) به دست می آیند.

$$\frac{h_s}{Y}, \frac{W}{Y}, \frac{L}{Y} = f\left(\theta, \frac{B_1}{Y}, \frac{B_2}{Y}, \frac{l}{Y}, \frac{U}{U_c}, Re, Fr, S, \% n\right) \quad (2)$$

با توجه به این که قطر متوسط مصالح در تمام آزمایش ها یکسان بود و اثر پارامتر سرعت در فرود جریان لحاظ شده است، بنابراین فرود ذره و  $\frac{U}{U_c}$  از متغیرهای بی بعد کنار گذاشته می شود.

همچنین، با توجه به این که محدوده عدد رینولدز در نظر گرفته شده برای این آزمایش ها بیش از ۲۰۰۰۰ بوده و جریان متلاطم است، از پارامتر رینولدز نیز صرف نظر گردیده است. با توجه به ثابت بودن

پارامترهای  $S$ ،  $\frac{l}{Y}$ ،  $\frac{B_2}{Y}$  و  $\frac{B_1}{Y}$ ، رابطه (۲) به صورت رابطه (۳) خلاصه می گردد.

$$\frac{H_s}{Y}, \frac{W}{Y}, \frac{L}{Y} = f(\% n, Fr) \quad (3)$$

در شکل (۱)، نمایی از یک چاله آبستنگی نشان داده شده است.

برای تخمین عمق آبستنگی موضعی ارائه گردید که همخوانی خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. کرمان نژاد و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی آزمایشگاهی رابطه تخلخل با حداکثر عمق آبستنگی آبشکن های  $L$  شکل نفوذپذیر با زبانه به سمت بالا دست و پایین دست پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که به ازای تخلخل ۴۵ الی ۵۰ درصد، کمترین میزان آبستنگی در اطراف آبشکن به سمت پایین دست و نیز بیشترین میزان آبستنگی در اطراف آبشکن با زبانه به سمت بالا دست رخ می دهد. موسوی و قدسیان (۱۳۸۹)، تأثیر انحنای نسبی کانال بر آبستنگی بستر در خم ۹۰ درجه را مطالعه کردند. نتایج آزمایش آن ها نشان داد که حداکثر عمق آبستنگی با افزایش دبی و عدد فرود جریان و با گذشت زمان، به سمت پایین دست منتقل می شود. محل وقوع حداکثر عمق آبستنگی در موقعیت حدود ۶۰ الی ۹۰ درجه از ابتدای قوس و در بیشتر موارد در زاویه ۸۰ الی ۹۰ درجه بود. رزمجو (۱۳۹۰)، به بررسی تأثیر پارامترهای هیدرولیکی روی تغییرات بستر در اطراف آبشکن های باز و بسته پرداخت. آزمایش های ایشان درون فلومی به عرض ۱/۵ متر با شرایط مختلف جریان و با فاصله های مختلف برای درصدهای بازشدگی صفر تا ۷۰ درصد آبشکن انجام شده است. نتایج تحقیق نشان داد که با افزایش فاصله آبشکن ها، حداکثر عمق آبستنگی در همه دماغه ها و عمق های مختلف، به ازای یک درصد بازشدگی ثابت افزایش می یابد و مقدار این افزایش در عمق بزرگ تر، بیشتر از عمق های دیگر می باشد. با افزایش عمق جریان، میزان حداکثر عمق آبستنگی در همه دماغه ها و فاصله های مختلف، به ازای یک درصد بازشدگی ثابت افزایش یافته و میزان این افزایش در فاصله  $4L$  تفاوت چشمگیری با فاصله های  $2L$  و  $3L$  دارد. شاکر (۱۳۹۱)، با اندازه گیری سه بعدی سرعت در قوس ۹۰ درجه ملایم نشان داد که حضور سری آبشکن ها باعث کاهش سرعت جریان بین آن ها گردیده و در شرایط مناسب و ایجاد گردابه بین آبشکن ها شرایط برای رسوب گذاری فراهم می گردد. بیاره پور و کاشفی پور (۱۳۹۲)، به بررسی آزمایشگاهی تأثیر نفوذپذیری آبشکن روی ابعاد چاله فرسایشی در مسیر مستقیم پرداخت، نتایج آزمایش ها نشان داد که با کاهش نفوذپذیری از ۶۴ درصد به صفر درصد، حداکثر عمق چاله فرسایشی به میزان بیش از چهار برابر افزایش پیدا کرد.

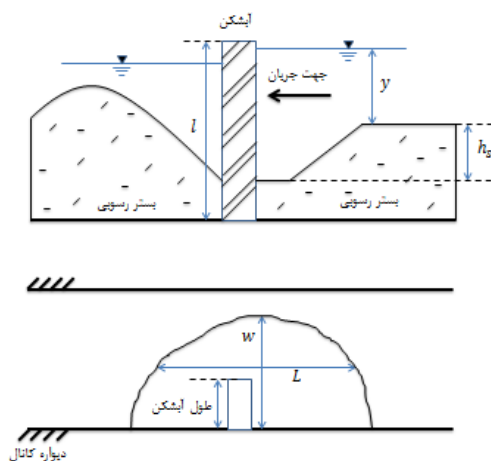
مروری بر تحقیقات گذشته نشان می دهد که اکثر مطالعات مربوط به آبشکن ها در مسیر مستقیم بوده است. در قوس ها، معمولاً از آبشکن های نفوذ ناپذیر استفاده شده و مطالعات مربوط به آبشکن های نفوذپذیر بسیار محدود است. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر حضور آبشکن های نفوذپذیر بر روی ابعاد چاله آبستنگی در قوس ملایم ۹۰ درجه است.

## مواد و روش ها

### تحلیل ابعادی

پارامترهای متعددی در عملکرد آبشکن ها و آبستنگی اطراف دماغه آن ها مؤثر می باشند. از جمله پارامترهایی که روی حداکثر

شهابی و کاشفی پور: بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذ پذیری سری آبشکن‌ها بر...



شکل ۱- نمایش شماتیک ابعاد چاله آبشستگی

جدول ۱- شرایط هیدرولیکی و هندسی آزمایش

پارامتر	محدوده تغییرات
دبی جریان (Q)	۲۵-۲۷-۳۰-۳۳ (lit/sec)
عمق جریان	۱۴ (سانتی متر)
طول آبشکن بی بعد شده	۱۴ (سانتی متر)
عدد فرود	۰/۲۱۸- ۰/۲۳۵- ۰/۲۶۱- ۰/۲۸۷
متوسط ذرات رسوبی (D <sub>50</sub> )	۱/۵ (میلی متر)
نفوذپذیری (n)	٪۰، ٪۳۳ و ٪۶۴

دو آبشکن روی یک صفحه از جنس پلکسی گلاس که با لیزر سوراخ شده بوده، قرار گرفته‌اند. پس از نصب این آبشکن‌ها در دیواره خارجی قوس با فاصله سه برابر طول آبشکن‌ها (و از ابتدای قوس)، آزمایش‌ها با چهار دبی متفاوت و عمق ۱۴ سانتی متر انجام گردید که در مجموع، تعداد ۱۲ آزمایش با شرایط ذکر شده در جدول (۱) انجام شده است.

#### نحوه انجام آزمایش

ابتدا سطح رسوبات بستر توسط دستگاه تسطیح تراز شد، سپس دریچه انتهایی فلوم و شیر زهکش به طور کامل بسته و جریان با دبی کم در فلوم برقرار می‌شد تا از شسته شدن ناگهانی رسوبات جلوگیری شود. بعد از ارتفاع گرفتن آب در فلوم، با باز کردن دریچه کشویی و رساندن دبی به دبی موردنظر، عمق آب بر روی عدد ۱۴ سانتی متر ثابت گردید.

طبق تحقیقات قبلی صورت گرفته در فلوم مورد استفاده، نتیجه گرفته شد که حدود بیش از ۹۰ درصد عمق آبشستگی با قطر رسوبات  $D_{50}=1.049$  میلی متر در ۱۸۰ دقیقه ابتدایی آزمایش‌ها اتفاق می‌افتد بهرامی یاراحمدی (۱۳۹۳). لحظه ثابت شدن عمق به عنوان لحظه شروع آزمایش در نظر گرفته شد و به مدت ۱۸۰ دقیقه جریان در فلوم برقرار بود. پس از اتمام زمان آزمایش، دریچه انتهایی کاملاً بسته و دبی ورودی قطع شد. سپس، با استفاده از باز کردن دریچه و شیر زهکش آب فلوم تخلیه شد. همواره عملیات

#### تجهیزات آزمایشگاهی

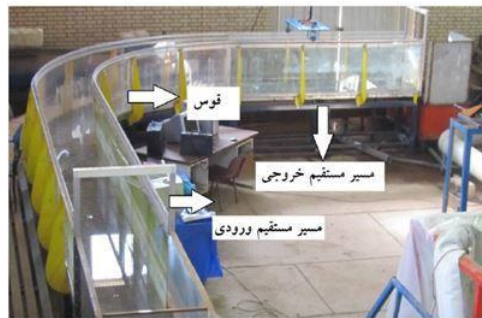
این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. به منظور انجام آزمایش‌های مورد نظر، از یک فلوم آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی با قوس ۹۰ درجه و با نسبت شعاع انحنای مرکزی به عرض فلوم معادل چهار استفاده گردید. عرض فلوم ۰/۷ متر و شعاع خارجی قوس ۳/۱۵ متر می‌باشد. طول راستای مستقیم کانال در بالا دست و پایین دست به ترتیب برابر ۵ و ۳ متر می‌باشد. با توجه به نسبت  $R/B$  که برابر چهار بوده، قوس مد نظر جزو قوس‌های ملایم محسوب می‌شود. مصالح بستر با دانه بندی یکنواخت ( $D_{50}$ ) برابر ۱/۵ میلی متر و با چگالی نسبی ۲/۶۵ و انحراف معیار هندسی ۱/۲۲ استفاده گردیده است. کلیه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال ( $U/U_c < 0.95$ ) انجام شد. شرایط آب زلال به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن شرایط جریان در فلوم کمتر از شرایط آستانه حرکت رسوبات باشد و لذا حرکت رسوب از بالا دست محل آبشستگی وجود ندارد. برای بررسی اثر نفوذ پذیری، آبشکن‌ها بر روی ابعاد چاله آبشستگی از آبشکن‌هایی با طول ۲۰ درصد عرض کانال استفاده گردیده است. ارتفاع آبشکن‌ها به شکلی در نظر گرفته شد که به صورت غیر مستغرق عمل کنند. این آبشکن‌ها به شکل مستطیلی با زاویه قائم و با سه حالت نفوذ پذیری در نظر گرفته شده‌اند. آبشکن‌های بسته (نفوذ ناپذیر) از جنس پلکسی گلاس و آبشکن‌های نفوذ پذیر از جنس میله‌های برنجی ساخته شدند. هر

تحقیقات صورت گرفته توسط فضلی و همکاران (۲۰۰۸) در رابطه با تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه نشان داد که در ورودی قوس، بیشینه سرعت در مجاورت جداره داخلی قوس بوده و با رسیدن به خروجی قوس و پس از آن، به جداره خارجی قوس انتقال می‌یابد. بنابراین، در تحقیق حاضر انتظار می‌رفت که حداکثر عمق آبستگي در اطراف آبشکن‌های واقع در انتهای خروجی قوس رخ دهد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که بیشینه آبستگي مربوط به آبشکن قرار گرفته در ناحیه‌ی انتهایی قوس خارجی و در زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه قوس می‌باشد. لذا، این آبشکن به عنوان آبشکن حساس در کلیه آزمایش‌ها در نظر گرفته شد و چگونگی تغییرات ابعاد چاله آبستگي اطراف آن مورد بررسی قرار گرفت. به عنوان نمونه، در شکل (۴)، الگوی فرسایش و رسوبگذاری در اطراف آبشکن‌های بسته با دبی ۳۳ لیتر بر ثانیه نشان داده شده است.

زهکشی به گونه‌ای انجام می‌گرفت که در حین تخلیه، تغییری در توپوگرافی بستر صورت نگیرد. به منظور برداشت تغییرات بستر از متر لیزری با دقت یک میلی‌متر استفاده شد. فواصل مقاطع برای اندازه‌گیری بسته به میزان تغییرات توپوگرافی بستر متغیر و در نزدیکی آبشکن‌ها فواصل کمتر و شبکه بندی ریزتر در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که توپوگرافی بستر در سه جهت طول، عرض و ارتفاع برداشت شد. در شکل‌های (۲) و (۳)، به ترتیب نمایی از فلوم مورد استفاده و آبشکن‌های نصب شده نشان داده شده است.

### نتایج و بحث

مطالعات صورت گرفته در خصوص هیدرولیک جریان در قوس‌ها این نکته را بیان می‌کند که برای قوس‌های با شعاع انحنای بیشتر از ۳/۵ (قوس‌های ملایم)، توزیع تنش برشی تقریباً در ناحیه ورودی خم یکنواخت می‌باشد و یک ناحیه تنش برشی قوی در ناحیه انتهایی قوس خارجی اتفاق می‌افتد. همچنین،



شکل ۲ - نمایی از فلوم استفاده شده



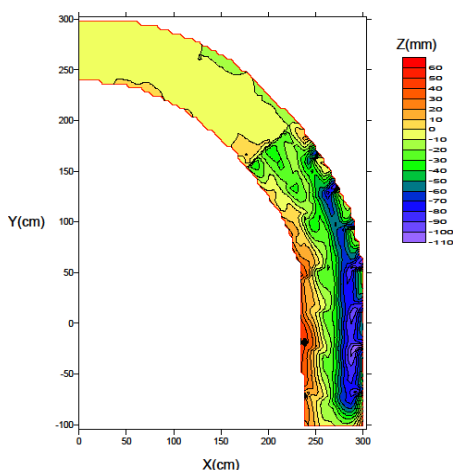
(الف)



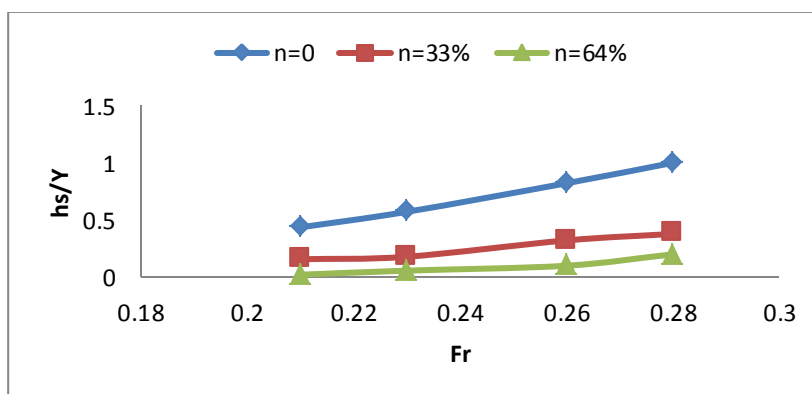
(ب)

شکل ۳ - نمایی از آبشکن‌های با نفوذ پذیری الف - صفر درصد، ب - ۳۳ درصد

شهابی و کاشفی پور: بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذ پذیری سری آبشکن‌ها بر...



شکل ۴- الگوی فرسایش در اطراف آبشکن‌های بسته با دبی ۳۳ لیتر بر ثانیه



شکل ۵- تأثیر عدد فرود جریان بر میزان حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن با درصد نفوذ پذیری متفاوت

کمی ارائه شده در جدول (۲)، حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن با نفوذ پذیری ۳۳ درصد و ۶۴ درصد، به ترتیب و به طور متوسط ۶۳/۹ درصد و ۸۸/۲ درصد نسبت به آبشکن بسته کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که با افزایش درصد نفوذ پذیری، میزان جریان عبوری از بین میله‌ها بیشتر شده و این جریان‌های عبوری، باعث ضعیف شدن جریان‌های رو به پایین و جریان‌های گردابی می‌شود و در نتیجه، اغتشاشات کمتری در فضای بین آبشکن‌ها ایجاد می‌شود.

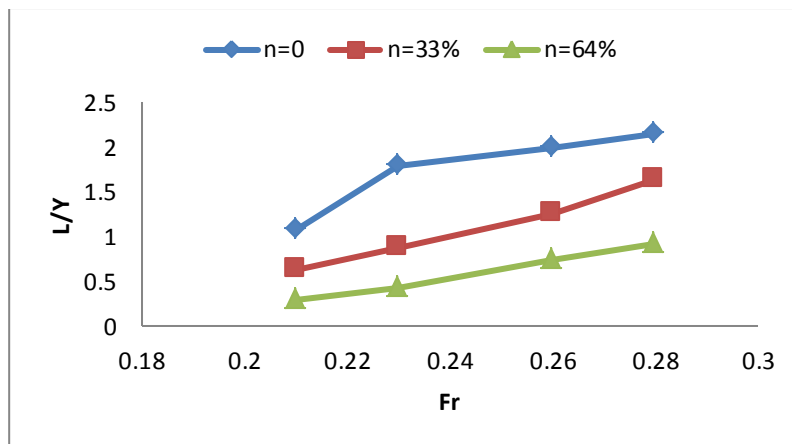
یکی از شاخص‌های مهم در طراحی آبشکن‌ها، مشخصات ابعاد حفره آبشستگی بوده که مهندسان قادر به تشخیص این نکته باشند که چه مقدار فونداسیون سازه برای محافظت از آبشستگی مورد نیاز است. در شکل‌های (۶) و (۷)، به ترتیب تغییرات نسبت طول و عرض چاله آبشستگی به عمق جریان با عدد فرود برای نفوذ پذیری‌های مختلف آبشکن‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییرات نسبت طول و عرض چاله آبشستگی برای آبشکن بسته، به میزان قابل توجهی بیشتر از نفوذ پذیری‌های ۳۳ درصد و ۶۴ درصد می‌باشد که با نتایج به دست آمده از تحقیق بیاره‌پور و کاشفی‌پور (۱۳۹۲) تطابق قابل قبولی دارد. با توجه به نتایج کمی ارائه شده در جدول (۲)، حداکثر طول آبشستگی نسبی

خلاصه نتایج به دست آمده از این تحقیق، به صورت کمی، در جدول (۲) آورده شده است.

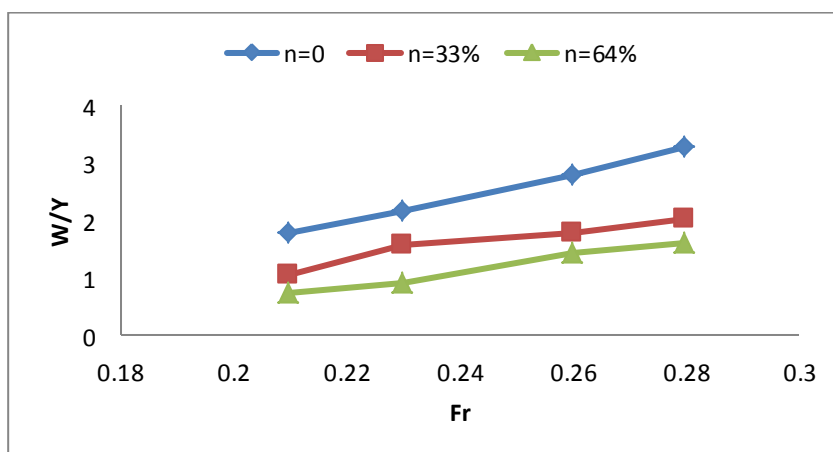
در شکل (۵)، تأثیر عدد فرود بر عمق آبشستگی برای درصد‌های نفوذ پذیری متفاوت نشان داده شده است. با افزایش عدد فرود (از ۰/۲۱۸ تا ۰/۲۸۷)، حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن‌های نفوذناپذیر به میزان بیش از دو برابر افزایش یافته و این روند برای آبشکن با درصد‌های نفوذ پذیری دیگر نیز صادق است. نحوه تغییرات عمق آبشستگی بر حسب تغییرات عدد فرود در تحقیق بیاره‌پور و کاشفی‌پور (۱۳۹۲) نیز صورت گرفت که تطابق قابل قبولی بین نتایج آن تحقیق و تحقیق حاضر گردیده است. دلیل این امر آن است که با زیاد شدن عدد فرود، سرعت جریان بیشتر شده و در نتیجه تنش برشی اعمالی از طرف جریان افزایش و عمق آبشستگی نیز افزایش می‌یابد. افزایش عدد فرود، باعث افزایش سرعت جریان و افزایش قدرت گردابه‌هایی که نزدیک بستر و اطراف صفحه آبشکن قرار دارد، شده و به این ترتیب، وجود گردابه‌های نعل اسبی در کف و تمرکز جریان و اغتشاش در دماغه آبشکن، باعث افزایش عمق چاله آبشستگی می‌شود. در هر عدد فرود، نفوذ پذیری ۰ درصد و ۶۴ درصد، به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار حداکثر عمق آبشستگی می‌باشند. با توجه به نتایج

میزان انحراف خطوط جریان و گردابه‌های نعل اسبی است که در اثر برخورد با صفحه آبشکن نفوذ ناپذیر پدید می‌آیند. با نفوذ پذیر شدن آبشکن، اطراف هر کدام از میله‌ها جریان‌های گردابی تشکیل می‌شود، با این تفاوت که میزان انحراف کمتر می‌شود. عامل توسعه طول آبشستگی در آبشکن‌های نفوذ ناپذیر (به ترتیب)، قدرت گردابه‌های نعل اسبی و جریان‌های چرخشی است که با نفوذ پذیر شدن آبشکن این عوامل تضعیف می‌یابند. به همین دلیل است که با نفوذ پذیر شدن آبشکن، تغییرات طول و عمق چاله آبشستگی نسبت به حالت نفوذ ناپذیر، بیشتر از تغییرات عرض چاله آبشستگی می‌باشد.

در آبشکن با نفوذ پذیری ۳۳ درصد و ۶۴ درصد، به ترتیب و به طور متوسط ۳۸/۱ درصد و ۶۷/۱ درصد نسبت به آبشکن بسته کاهش می‌یابد. همچنین، عرض آبشستگی نسبی در آبشکن با نفوذ پذیری ۳۳ درصد و ۶۴ درصد، به ترتیب، به طور متوسط ۳۵/۵ درصد و ۵۳/۸ درصد نسبت به آبشکن بسته کاهش می‌یابد. دلیل این امر آن است که آبشکن نفوذ ناپذیر، به صورت مانعی غیر قابل نفوذ در مقابل جریان آب عمل می‌کند. از این رو، تمرکز جریان و اغتشاش در دماغه این نوع آبشکن‌ها از شدت بیشتری برخوردار است، ولی در آبشکن‌های باز، برخلاف آبشکن‌های بسته، بخشی از جریان از میدان آبشکن عبور می‌نماید و دیواره آبشکن قسمتی از جریان را منحرف می‌کند و در نتیجه، چاله فرسایشی کوچکتری را نسبت به حالت نفوذ ناپذیر سبب می‌گردد. عامل توسعه چاله آبشستگی در جهت عرض فلوم،



شکل ۶- تغییرات نسبت طول چاله آبشستگی به عمق جریان با عدد فرود برای نفوذ پذیری‌های مختلف آبشکن‌ها

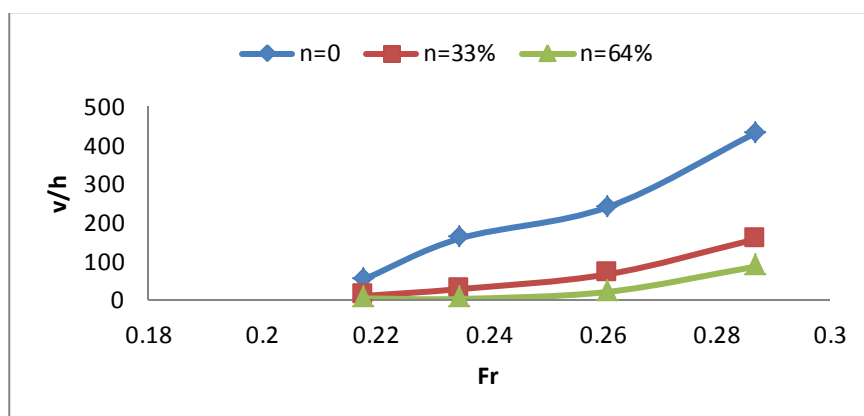


شکل ۷- تغییرات نسبت عرض چاله آبشستگی به عمق جریان با عدد فرود برای نفوذ پذیری‌های مختلف آبشکن‌ها

شهابی و کاشفی پور: بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذ پذیری سری آبشکن‌ها بر...

## جدول ۲- خلاصه نتایج تحقیق حاضر

شماره آزمایش	نفوذ پذیری (n)	عدد فرود (Fr)	حداکثر عمق آبشستگی نسبی (h <sub>s</sub> /Y)	حداکثر عرض آبشستگی نسبی (W/Y)	حداکثر طول آبشستگی نسبی (L/Y)	حداکثر حجم آبشستگی نسبی (v/h)
۱	۰٪	۰/۲۱	۰/۴۳	۱/۷۸	۱/۰۷	۵۲/۶۰
۲	۰٪	۰/۲۳	۰/۵۸	۲/۱۷	۱/۷۸	۱۵۸/۸۸
۳	۰٪	۰/۲۶	۰/۸۲	۲/۷۸	۲	۲۴۰/۰۶
۴	۰٪	۰/۲۸	۱	۳/۲۸	۲/۱	۴۳۱/۵۸
۵	۳۳٪	۰/۲۱	۰/۱۵	۱/۰۷	۰/۶۲	۹/۵۹
۶	۳۳٪	۰/۲۳	۰/۱۷	۱/۵۷	۰/۸۸	۲۷/۴۹
۷	۳۳٪	۰/۲۶	۰/۳۲	۱/۷۸	۱/۲۵	۶۵/۸۱
۸	۳۳٪	۰/۲۸	۰/۳۷	۲/۰۳	۱/۶۴	۱۵۶/۳۷
۹	۶۴٪	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۷۵	۰/۲۸	۳/۳۴
۱۰	۶۴٪	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۹۲	۰/۴۲	۱/۸۶
۱۱	۶۴٪	۰/۲۶	۰/۱	۱/۴۲	۰/۷۵	۲۰/۱۱
۱۲	۶۴٪	۰/۲۸	۰/۲۲	۱/۶۰	۰/۹۲	۸۵/۴۴



شکل ۸- نمودار حجم آبشستگی (بر حسب سانتی متر مکعب)، به ازای عدد فرود و نفوذپذیری متفاوت

### نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، تأثیر حضور آبشکن‌های نفوذپذیر در قوس مورد بررسی قرار گرفته است. مهمترین نتایج به دست آمده به شرح زیر می‌باشد: بیشینه آبشستگی مربوط به آبشکن قرار گرفته در ناحیه‌ی انتهایی قوس خارجی و در زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه قوس می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که در اعداد فرود ثابت، با افزایش درصد نفوذپذیری، آبشستگی به میزان زیادی کاهش می‌یابد. برای نفوذ پذیری ۳۳ درصد، عمق، طول و عرض آبشستگی نسبی در مقایسه با حالت نفوذ ناپذیر به ترتیب ۶۳/۹، ۳۸/۱ و ۳۵/۵ درصد کاهش یافت. همچنین، برای نفوذ پذیری ۶۴ درصد، عمق، طول و عرض آبشستگی نسبی ۶۷/۱، ۸۸/۲ و ۵۳/۸ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش نفوذ پذیری، حجم آبشستگی کاهش می‌یابد.

در اطراف سازه‌هایی که برای کنترل فرسایش در ساحل بیرونی مورد استفاده قرار می‌گیرند، همواره آبشستگی رخ می‌دهد. شرایط جریان، رسوب و شرایط هندسی سازه، از جمله عوامل مؤثر بر مقدار و گستردگی آن می‌باشند. اگر مقدار آبشستگی بیش از مقدار نفوذ سازه در بستر باشد، باعث واژگونی و تخریب سازه و ساحل بیرونی می‌گردد. بنابراین، بررسی عوامل مؤثر بر حجم آبشستگی نیز ضروری است. در شکل (۸)، نمودار حجم آبشستگی، به ازای عدد فرود و درصد نفوذپذیری‌های متفاوت نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، با افزایش نفوذ پذیری، حجم آبشستگی کاهش می‌یابد. در هر عدد فرود، نفوذ پذیری ۰ درصد و ۶۴ درصد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار حداکثر عمق آبشستگی می‌باشند. دلیل این امر آن است که با کاهش نفوذ پذیری، مقدار افت بیشتر شده و میزان جریان عبوری از آبشکن کاهش می‌یابد. با کاهش جریان عبوری از آبشکن، جریان گردابه‌ای قوی‌تری شکل گرفته و میزان آبشستگی نیز افزایش می‌یابد.



## منابع

- ۱- بهرامی یار احمدی، م. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی ترتیب صفحات متصل به ساحل و تیغه افقی بر تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه پایان نامه دکترا، رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- رزمجو، ق. ۱۳۹۰. تأثیر پارامترهای هیدرولیکی بر روی تغییرات بستر اطراف آبشکن‌های باز و بسته، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، جلد چهارم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- ۳- شریفی منش، ح. ۱۳۷۴، بررسی و مقایسه میزان آبستتگی اطراف آبشکن‌های باز با استفاده از مدل هیدرولیکی پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- ۴- شاکر، ا. و س.م. کاشفی پور ۱۳۹۲، بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول و زاویهی قرارگیری آبشکنهای مستطیلی بر توزیع سرعت و تنش برشی در قوس ۹۰ درجه، نشریه علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۳۸(۳): ۱-۱۲.
- ۵- کرمان نژاد، ج.، فتحی مقدم، م.، دهقانی، ا. ا. و م. محمودیان شوشتری. ۱۳۸۹، بررسی رابطه تخلخل با حداکثر عمق آبستتگی آبشکن‌های L شکل نفوذپذیر با زبانه به سمت بالادست و پایین دست در شرایط آب زلال، نشریه آب و خاک، ۲۵ (۲): ۳۱۴-۳۰۵.
- ۶- کریمی، ح.، اردشیر، ع و ک. بهزادیان، ۱۳۸۹. تعیین ابعاد بهینه آبشکن محافظ با هدف کاهش عمق آبستتگی در اطراف آبشکن‌ها در بازه مستقیم در آستانه حرکت ذرات بستر. مجله علمی-پژوهشی هیدرولیک، سال پنجم، شماره (۲)، ۱۶-۴.
- ۷- موسوی، س. م. ۱۳۸۷، استفاده از مدل فیزیکی در بررسی اثر آبشکن‌ها در کنترل رسوب و کاهش فرسایش در قوس ۹۰ درجه رودخانه‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان
- ۸- موسوی، ک. و م. قدسیان، ۱۳۸۹، بررسی آزمایشگاهی تأثیر انحناى نسبی کانال بر آبستتگی بستر در خم ۹۰ درجه، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، ۱۰ (۲): ۱۴۴-۱۳۵.
- ۹- بیاره پور، ا. و س.م. کاشفی پور ۱۳۹۲، بررسی آزمایشگاهی تأثیر نفوذ پذیری آبشکن روی ابعاد چاله فرسایشی، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۳۴(۳): ۳۷-۴۰.
- 10- Fazli, M., Ghodsian, M. and S. A. A. Salehi Neyshabouri, 2008. Scour and flow around a spur dike in a 90 degree bend. *International Journal of Sediment Research*, 23(1): 56-68.
- 11- Ghodsian, M. and S. M. Hosseini, 2001. Scour around groins. *International Journal of Sediment Research*, 16(1): 60-68.
- 12- GU, Z.P., Akahori, R and S., Ikeda, 2011. Study on the transport of suspended sediment in an open channel flow with permeable spur dykes. *International Journal of Sediment Research*, 26(1):96-111.
- 13-Osman M.A, and H. Nagmoldin Saeed 2012 Local scour depth at the nose of permeable and impermeable spur dykes, *University of Khartoum Engineering Journal*, 2(1): 1-9.
- 14- Rozovskii, I. L. 1961 Flow of water in Bends of open channels. National Science Foundation and the Department of the Interior, 233.
- 15- Zhang, H. and H. Nakagawa 2008. Scour around spur dykes, *Recent Advances and Future Researches, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, No 51(B):633-652.
- 16- Zhang, H. and H. Nakagawa 2009. Characteristics of local flow and bed deformation at impermeable and permeable spur dykes. *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, 53(1):145-150.