علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۰، شماره‌ی۳، پاییز ۹۶، ص. ۴۸-۳۵

بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذپذیری و طول سری آبشکن‌ها بر ابعاد چاله آبشستگی در شرایط غیر مستغرق در قوس ۹۰ درجه ملایم

مریم چام پور[۱] و سید محمود کاشفی پور[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، Kashefipour@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۸

چکیده

تغییرات رودخانه‌ای به‌صورت فرسایش و رسوب‌گذاری متناوب در بستر، تخریب و تعریض دیواره‌ها و سواحل، جابجایی الگوی مارپیچی و راستای جریان، تغییر شکل رودخانه (شریانی -مارپیچی -مستقیم)، میانبری و یا انحراف مسیر رخ می‌دهد. یکی از روش‌های متداول ساماندهی و کنترل فرسایش کناری در قوس رودخانه‌ها، استفاده از آبشکن می‌باشد. در تحقیق حاضر به بررسی سه نفوذپذیری ۰، ۳۳ و ٦٤ درصد و سه طول مؤثر ۱۰/۵، ١٤ و ۱۷/۵سانتی‌متر معادل ۰/۱۵، ۰/۲ و ۰/۲۵ عرض فلوم با چهار عدد فرود ۰/۲۱، ۰/۲۳، ۰/۲٦ و ۰/۲۸ بر ابعاد چاله آبشستگی در قوس ۹۰ درجه ملایم پرداخته شده است. نتایج نشان داد که با افزایش نفوذپذیری در هر سه طول مؤثر آبشکن‌ها، ابعاد چاله آبشستگی در عدد فرود ثابت جریان کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که در آبشکن با طول مؤثر ١٤ سانتی‌متر با افزایش نفوذپذیری به میزان ۳۳ درصد نسبت به حالت ۰درصد (نفوذناپذیر)، حداکثر عمق، طول و عرض چاله آبشستگی در عدد فرود ۰/۲۸ به ترتیب به میزان ۵۹/۸، ٤۷/۹ و ۳۸/٦ درصد کاهش می‌یابد و همچنین با افزایش نفوذپذیری به میزان ٦٤ درصد نسبت به حالت ۰ درصد (نفوذناپذیر)، نسبت مزبور به ترتیب به میزان ۸۲/۹، ٦٦/۰ و ٤۷/۵ درصد کاهش می‌یابد. در هر سه حالت نفوذپذیری، با افزایش طول مؤثر آبشکن، ابعاد چاله آبشستگی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که، بیشترین و کمترین ابعاد چاله آبشستگی مربوط به آبشکن با طول مؤثر ۱۷/۵ و ۱۰/۵ می‌باشد. همچنین، با افزایش عدد فرود میزان آبشستگی افزایش یافته و بیشترین مقدار آبشستگی، در ناحیه انتهایی قوس خارجی به وقوع پیوسته است.

کلید واژه‌ها: آبشکن نفوذپذیر، آبشستگی، قوس رودخانه، حفاظت ساحل رودخانه.

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 مقطع به‌ویژه در قوس رودخانه‌ها مشهودتر است. تغییرات در قوس‌ها امر بسیار مهمی بوده و تحقیقات زیادی را در سال‌های اخیر به خود اختصاص داده است. ساماندهی رودخانه‌ها در محل قوس با اهدافی نظیر جلوگیری از تغییر انحناء قوس، جلوگیری از تغییرات مورفولوژی و تراز بستر، حفاظت از دیواره خارجی در برابر فرسایش، کنترل رسوب‌گذاری در مجاور دیواره داخلی انجام می‌گیرد. روش‌های حفاظت سواحل از دیدگاه عملکرد سازه‌ها به دو گروه کلی ذیل تقسیم‌بندی می‌شوند. الف: روش‌های حفاظت مستقیم، ب: روش‌های حفاظت غیرمستقیم (جریان اصلی از کناره‌ها دور نگه‌داشته می‌شود)، مانند استفاده از سازه‌های عرضی نظیر آب‌شکن و غیره. در این روش با ساخت سازه‌هایی باعث انحراف خطوط جریان از دیواره‌های فرسایش پذیر شده و قابلیت رسوب‌گذاری جریان افزایش می‌یابد. آبشکن‌ها سازه‌های عرضی یا در واقع دیواره‌های متقاطعی هستند که به کناره رودخانه متصل شده و گاهی به‌صورت یک سری متوالی و گاهی به‌صورت منفرد باعث انحراف آب از محل کناره‌ها می‌شوند؛ و عمدتاً در حفاظت دیواره‌های خارجی پیچ‌ها، طرح‌های اصلاح مسیر و کاهش عرض رودخانه به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع آبشکن‌ها بر 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 و 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 تغییر جهت جریان می‌شوند (بی‌نام، ۱۳۸۷). موسوی و قدسیان (۱۳۸۹) تأثیر انحنای نسبی کانال را بر آبشستگی بستر در خم ۹۰ درجه مطالعه کردند. آزمایش‌ها در فلوم قوسی ۹۰ درجه با عرض ۶۰ سانتی‌متر انحناهای نسبی (R/B) برابر ۲، ۳و ۴ تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت انجام شد. نتایج نشان داد که در بیشتر آزمایش‌ها محل حداکثر عمق آبشستگی با افزایش دبی و عدد فرود جریان و با گذشت زمان، به سمت پایین‌دست منتقل می‌شود. محل وقوع حداکثر عمق آبشستگی در موقعیت حدود ۹۰-۶۰ درجه از ابتدای قوس و در بیشتر موارد در زاویه ۹۰-۸۰ بود. با کم شدن انحنای نسبی، حفره‌ی آبشستگی به سمت وسط مقطع و تپه رسوب‌گذاری به‌طرف دیوار داخلی حرکت می‌کرد به‌علاوه عمق حفره‌ی آبشستگی در ساحل خارجی نیز کاهش می‌یافت. در بیشتر آزمایش‌ها با کاهش انحنای نسبی، عمق آبشستگی افزایش می‌یافت. مهرنهاد و قدسیان (۱۳۹۱) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر پارامترهای طول آبشکن و قطر مصالح بر آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه پرداختند. نتایج آزمایش‌ها بیانگر این است که ابعاد چاله آبشستگی (شامل حداکثر عمق آبشستگی، طول چاله آبشستگی در بالادست آبشکن و حداکثر عرض چاله آبشستگی) با طول آبشکن نسبت مستقیم دارند درحالی‌که حداکثر عمق آبشستگی و طول چاله آبشستگی در بالادست آبشکن با قطر متوسط مصالح نسبت معکوس دارد. بیاره‌پور و کاشفی‌پور (۱۳۹۲)، به منظور بررسی اثر نفوذپذیری آبشکن بر ابعاد چاله فرسایشی، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/۵۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متراز جنس پلکسی‌گلاس انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش عدد فرود جریان، ابعاد چاله فرسایشی به میزان بیش از ۱/۵برابر (در حالت نفوذناپذیر) افزایش و با کاهش نفوذپذیری از ۵۰ درصد تا صفر درصد، حداکثر عمق چاله فرسایشی به میزان بیش از چهار برابر افزایش پیدا کرد. همچنین با افزایش نفوذپذیری، ابعاد چاله آبشستگی اطراف دو ردیف اول و دوم آبشکن‌ها کاهش یافت. روابطی برای محاسبه ابعاد چاله آبشستگی به‌دست آوردند. شهابی و کاشفی‌پور (۱۳۹۴)، به بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذپذیری سری آبشکن‌ها بر روی ابعاد چاله آبشستگی در شرایط غیر مستغرق در قوس ۹۰ درجه با انحنای نسبی 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 نفوذپذیری، آبشستگی به‌میزان زیادی کاهش می‌یابد. برای نفوذپذیری ۳۳ درصد، عمق، طول و عرض آبشستگی نسبی در مقایسه با حالت نفوذناپذیر به ترتیب ۶۳/۹، ۳۸/۱و ۳۵/۵ درصد کاهش یافت. همچنین، برای نفوذپذیری ۶۴ درصد، نسبت مزبور به ترتیب ۶۷/۱، ۸۸/۲و ۵۳/۸ درصد کاهش یافت. همچنین مشاهده شد که با افزایش عدد فرود (از ۰/۲۱۸ تا ۰/۲۸۷)، حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن‌های نفوذناپذیر به‌میزان بیش از دو برابر افزایش یافته و این روند برای آبشکن با درصدهای نفوذپذیری دیگر نیز صادق است. ازلدین و همکاران[1] (۲۰۰۷) به منظور بررسی تأثیر نسبت تنگ‌شدگی و زاویه حمله جریان بر ابعاد چاله آبشستگی، آزمایش‌هایی را بر تک آبشکن نفوذپذیر انجام دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، به ازای شرایط جریان یکسان و میزان تنگ‌شدگی برابر، زاویه ۳۰ درجه دارای عملکرد مطلوبی برای کاهش عمق آبشستگی در دماغه و کنترل فرسایش ساحل تشخیص داده شد. همچنین مشاهده شد که در مقایسه با زاویه ۳۰ درجه، عمق آبشستگی برای آبشکن با زاویه ۶۰ درجه به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و بنابراین عملکرد آبشکن جاذب، از نظر آبشستگی موضعی در دماغه مطلوب دانسته نشد. نصراللهی و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی آزمایشگاهی چاله آبشستگی اطراف تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر پرداختند و بر اساس تحلیل ابعادی پارامترهای مهم مؤثر بر چاله آبشستگی به عدد فرود، درصد نفوذپذیری آبشکن و نسبت عمق جریان به طول آبشکن، نسبت D_{50} به طول آبشکن و نسبت عرض کانال به طول آبشکن دارد. نتایج کاهش قابل توجه حداکثر عمق آبشستگی آبشکن نفوذپذیر را در مقایسه با آبشکن نفوذناپذیر نشان داد و روابطی نیز برای حداکثر عمق آبشستگی آبشکن ارائه شد. ژنگ و ناکاگاوا[2] (۲۰۰۸) با انجام آزمایش‌هایی بر تک آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر و مقایسه آبشستگی اطراف این دو نوع آبشکن، به این نتیجه رسیدند که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن نفوذپذیر، به میزان ۵۰ درصد از آبشکن نفوذناپذیر کمتر است. عثمان و نجم الدین سعید[3] (۲۰۱۲) با انجام آزمایش هایی، به بررسی اثر تنگ‌شدگی بر روی سری آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر پرداختند. نتایج این آزمایشات نشان داد که عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر با نسبت تنگ‌شدگی ۶۰ درصد، ۲/۶ برابر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها با نسبت تنگ‌شدگی ۸۰ درصد است و این نسبت برای آبشکن‌های نفوذپذیر با همان شرایط به میزان سه برابر می‌باشد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود تاکنون مطالعات زیادی روی آبشکن‌های منفرد و همچنین آبشکن نفوذناپذیر بر قوس صورت گرفته اما مطالعات مربوط به سری آبشکن‌ها و نیز آبشکن نفوذپذیر برای بررسی الگوی آبشستگی و رسوب‌گذاری اطراف آن‌ها در محل قوس محدود بوده است، به همین دلیل در مطالعه حاضر هدف

1- Ezzeldin *et al.*
2- Zhang and Nakagawa
3- Osman and Negmaldin Saeed

بررسی ابعاد چاله آبشستگی در اطراف سری آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر با طول‌های متفاوت در طول قوس است.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

عوامل مؤثر در پدیده آبشستگی و رسوب‌گذاری اطراف آبشکن‌ها از پنج عامل اصلی هندسه سیستم، مشخصات سازه‌ها، هیدرولیک جریان، خصوصیات سیال و خصوصیات رسوب تأثیر می‌پذیرد. لذا متغیرهای مختلفی که تشکیل‌دهنده این پنج عامل اصلی هستند عبارتند از:

- عوامل مربوط به هندسه کانال: شیب طولی فلوم (S_b)، عرض کانال (B)، شعاع قوس (R)، زاویه مرکزی قوس (α).
- عوامل مربوط به هندسه آبشکن‌ها: فاصله‌ی بین آبشکن‌ها (a)، طول مؤثر آبشکن‌ها (L_e)، زاویه اتصال آبشکن به دیواره‌ی قوس خارجی (Θ)، ارتفاع آبشکن‌ها (h)، نفوذپذیری آبشکن‌ها (ϕ).
- عوامل مربوط به هیدرولیک جریان: سرعت متوسط جریان (U)، عمق جریان (Y)، شتاب ثقل (g)، حداکثر عمق چاله‌ی آبشستگی (d_s)، عرض چاله‌ی آبشستگی (W)، طول چاله‌ی آبشستگی (L).
- عوامل مربوط به سیال: لزوجت سیال (μ)، جرم مخصوص سیال (ρ).
- عوامل مربوط به رسوبات بستر: قطر متوسط رسوبات (D_{50})، چگالی مصالح بستر (G_s)، سرعت آستانه حرکت رسوبات (U_c).

پارامترهای فوق به‌صورت تابع زیر نوشته می‌شود:

$$f(S_b, B, R, \alpha, a, L_e, \Theta, h, \phi, U, Y, g, d_s, W, L, \mu, \rho, D_{50}, G_s, U_c)=0$$

با انتخاب ρ، Y، U به‌عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش باکینگهام پارامترهای بدون بعد به‌صورت رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$\frac{d_s}{Y}, \frac{W}{Y}, \frac{L}{Y}= f(\frac{B}{Y}, \frac{a}{Y}, \frac{L_e}{B}, \frac{D_{50}}{Y}, \frac{U}{U_c}, \frac{h}{Y}, R_e, F_r, S_b, \phi, \alpha, \Theta, R) \quad (۱)$$

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، (D_{50}) و $\frac{U}{U_c}$ از متغیرهای بدون بعد کنار گذاشته شد. همچنین با توجه به ثابت بودن عرض فلوم، زاویه‌ی قرارگیری آبشکن، ارتفاع آبشکن و فاصله‌ی آبشکن‌ها مقادیر a, h, Θ, B در کلیه آزمایش‌ها یکسان خواهد بود و از آنجا که آزمایش‌ها در یک فلوم قوسی ۹۰ درجه ملایم با شعاع ثابت انجام شده لذا مقادیر R, S_b, α برای کلیه آزمایش‌ها مقداری ثابت است؛ و نیز با توجه به آشفتگی کامل جریان در کلیه آزمایش‌ها از پارامتر R_e صرف‌نظر گردید؛ و درنهایت رابطه (۲) به دست آمد:

$$\frac{d_s}{Y}, \frac{W}{Y}, \frac{L}{Y}= f(F_r, \phi, \frac{L_e}{B}) \quad (۲)$$

شکل (۱) ابعاد چاله آبشستگی را نشان می‌دهد.

تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌های این تحقیق در یک فلوم قوسی ۹۰ درجه ملایم واقع در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز پذیرفت. کانال قوسی دارای مقطع مستطیلی با عرض ۰/۷ متر و نسبت شعاع مرکزی قوس به عرض فلوم (R/B= ۴) که در رده قوس‌های ملایم قرارگرفته انجام شده است. طول بازه‌های مستقیم بالادست و پایین دست به ترتیب ۵ و ۳ متر می‌باشد. جنس کف فلوم از آهن گالوانیزه و جنس دیواره‌های بازه‌های مستقیم و قوسی فلوم به ترتیب شیشه و ورقه‌های پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. برای تنظیم عمق جریان از یک دریچه کشویی در انتهای بازه مستقیم پایین دست قوس استفاده گردید.

آبشکن‌ها

هدف از این تحقیق بررسی اثر طول مؤثر و نفوذپذیری سری آبشکن‌ها بر ابعاد چاله آبشستگی در اطراف آن‌ها در قوس می‌باشد. لذا در این آزمایش‌ها از آبشکن‌هایی با مشخصات زیر استفاده شده است:

آبشکن نفوذناپذیر (بسته)

از سه آبشکن با طول‌های ۱۰/۵، ۱۴و ۱۷/۵ سانتی‌متر استفاده گردید. بر این اساس درصد انسداد آبراهه برابر ۱۵، ۲۰و ۲۵ درصد است و بازه مربوط به طول آبشکن مطرح‌شده در استانداردهای موجود را تأمین می‌نماید. جنس کلیه آبشکن‌ها از ورق پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر بوده که توسط دستگاه لیزر به‌دقت بریده شدند. ارتفاع آبشکن‌ها به‌گونه‌ای انتخاب گردید که آبشکن همواره به‌صورت غیر مستغرق عمل نماید.

آبشکن نفوذپذیر (باز)

آبشکن‌های نفوذپذیر نیز با طول‌های ۱۰/۵، ۱۴و ۱۷/۵ سانتی‌متر ساخته گردید. آبشکن‌ها با استفاده از دو صفحه پلکسی گلاس به ضخامت ۱۰ میلی‌متر که این صفحات توسط لیزر به فواصل معین و متناسب با نفوذپذیری (۳۳و ۶۴ درصد) سوراخ شده و سپس با نصب مفتول‌های برنجی به قطر چهار میلی‌متر بین آن دو،

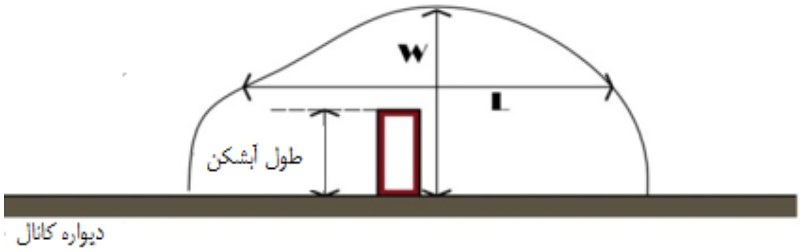
مدل آبشکن باز ساخته گردید؛ که فاصله بازشدگی آبشکن‌های باز طبق رابطه (۳) طراحی می‌شود.

$$R = \frac{x}{x+D} * 100 \quad (۳)$$

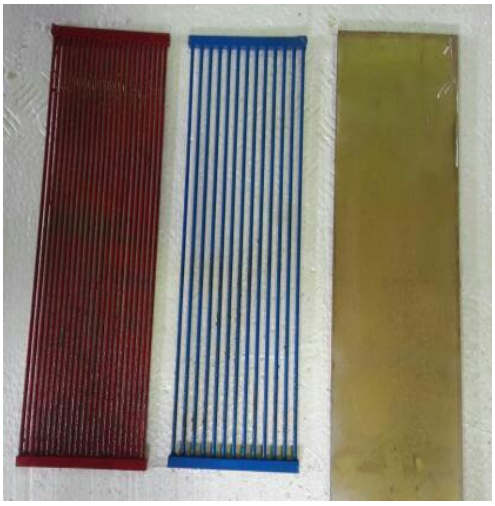
x: فاصله بین میله‌ها

D: قطر میله‌ها

که با قرار دادن درصد نفوذپذیری و قطر میله‌ها در رابطه (۳) فاصله بین میله‌ها روی صفحه پلکسی گلاس مشخص می‌شود. در شکل‌های (۲) و (۳)، به‌ترتیب نمایی از سه نفوذپذیری مختلف آبشکن (۰، ۶۴و ۳۳ درصد) و نمایی از فلوم و آبشکن‌های نصب شده در آن ملاحظه می‌گردد.



شکل۱- نمایش ابعاد چاله آبشستگی (نما از بالا)



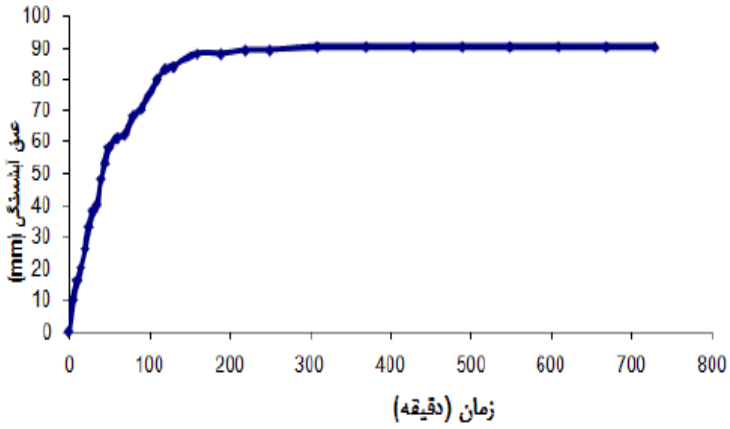
شکل۲- نمایی از سه نفوذپذیری مختلف آبشکن (۰، ٦٤و ۳۳ درصد)



شکل ۳- نمایی از فلوم قوسی به همراه آبشکن‌های نصب شده

نحوه انجام آزمایش‌ها

در این تحقیق برای بررسی اثر طول مؤثر و نفوذپذیری سری آبشکن‌های نفوذپذیر بر ابعاد چاله آبشستگی اطراف آن‌ها ۳۶ آزمایش انجام پذیرفت (جدول ۱). آزمایش‌ها با آبشکن به طول‌های ۱۰/۵، ۱۴و ۱۷/۵ سانتی‌متر معادل ۱۵، ۲۰و ۲۵ درصد عرض فلوم، نفوذپذیری ۰، ۳۳و ۶۴ درصد و چهار دبی ۲۵، ۲۷، ۳۰و ۳۳ لیتر بر ثانیه به ترتیب متناظر با اعداد فرود ۰/۲۱، ۰/۲۳، ۰/۲۶و ۰/۲۸ در شرایط آب زلال (U/Uc <۰/۹۵) صورت پذیرفت. 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 بالادست محل آبشستگی وجود ندارد. سرعت آستانه حرکت رسوبات (Uc) با استفاده از نمودار شیلدز برابر ۰/۳۵ متر بر ثانیه محاسبه گردید. بنابراین به‌منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست آبشکن، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی (U<Uc) شد که اعداد فرود ۰/۲۱، ۰/۲۳، ۰/۲۶ و ۰/۲۸ معادل (U<Uc) ۰/۷۱، ۰/۷۷، ۰/۸۸ و ۰/۹۴ در کلیه آزمایش‌ها انتخاب گردید. نحوه اجرای آزمایش‌ها بدین‌صورت بود که ابتدا آبشکن‌های نفوذپذیر (۰، ۳۳و ۶۴ درصد) با فاصله ثابت (a/L_e=۴) و با زاویه ۹۰ درجه عمود بر دیواره قوس خارجی فلوم نصب گردید. سپس فلوم که از ماسه طبیعی با دانه‌بندی یکنواخت و با قطر متوسط معادل ۱/۵ میلی‌متر پوشیده است توسط شابلون تسطیح به‌طور یکسان در سراسر فلوم و اطراف آبشکن‌ها گسترانده شد. سپس توپوگرافی بستر را توسط متر لیزری با دقت یک میلی‌متر برداشت کرده تا پس از آزمایش بتوان مقادیر رسوب‌گذاری و فرسایش را به‌طور دقیق تعیین کرد. با اطمینان از بسته بودن تمامی شیرها و دریچه کشویی انتهایی فلوم، به‌منظور تأمین دبی پمپ روشن گردید. بعد از راه‌اندازی پمپ، آب زلال به‌آرامی درون کانال هدایت گردید که موجب مرطوب شدن رسوبات کف فلوم می‌گردد. سپس دبی موردنظر (۲۵، ۲۷، ۳۰و ۳۳) را توسط دبی سنج اولتراسونیک مدل Digi Sonic E+ برقرار کرده و عمق جریان نیز توسط دریچه کشویی انتهای فلوم تنظیم می‌گردد و با ثابت شدن عمق آب (۱۴ سانتی‌متر) زمان آزمایش شروع می‌شد. به منظور تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها یک آزمایش طولانی به مدت ۱۴ساعت بر روی آبشکن‌های نفوذناپذیر و عدد فرود ۰/۲۸ انجام گردید (شکل ۴). نتایج به‌دست آمده نشان داد که حدود بیش از ۹۰ درصد عمق آبشستگی با قطر رسوبات D_{50}= ۱/۴۹ میلی‌متر در ۱۸۰ دقیقه ابتدایی آزمایش‌ها اتفاق می‌افتد. لذا در کلیه آزمایش‌ها، زمان آزمایش ۱۸۰ دقیقه در نظر گرفته شد. بعد از گذشت زمان تعادل آزمایش‌ها پمپ خاموش گردید و آب موجود در کانال به‌آرامی زهکشی شد تا تأثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نگردد. به منظور تعیین ابعاد چاله‌ی آبشستگی (طول (L)، عرض (W) و حداکثر عمق آبشستگی(d_s)) در اطراف آبشکن‌ها، توپوگرافی بستر با استفاده از متر لیزری با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد که در سه جهت طول، عرض و ارتفاع برداشت شد. فواصل مقاطع جهت اندازه‌گیری بستگی به تغییرات توپوگرافی بستر داشته و در فواصل نزدیک به آبشکن‌ها نقاط بیشتری برداشت می‌شد. پس از داده‌برداری، با نرم‌افزارهای (اکسل، سرفر) داده‌ها تجزیه و تحلیل گردید.



شکل ٤- تغییرات عمق آبشستگی با زمان برای تعیین زمان تعادل

جدول ۱- الگوی کلی آزمایش‌ها

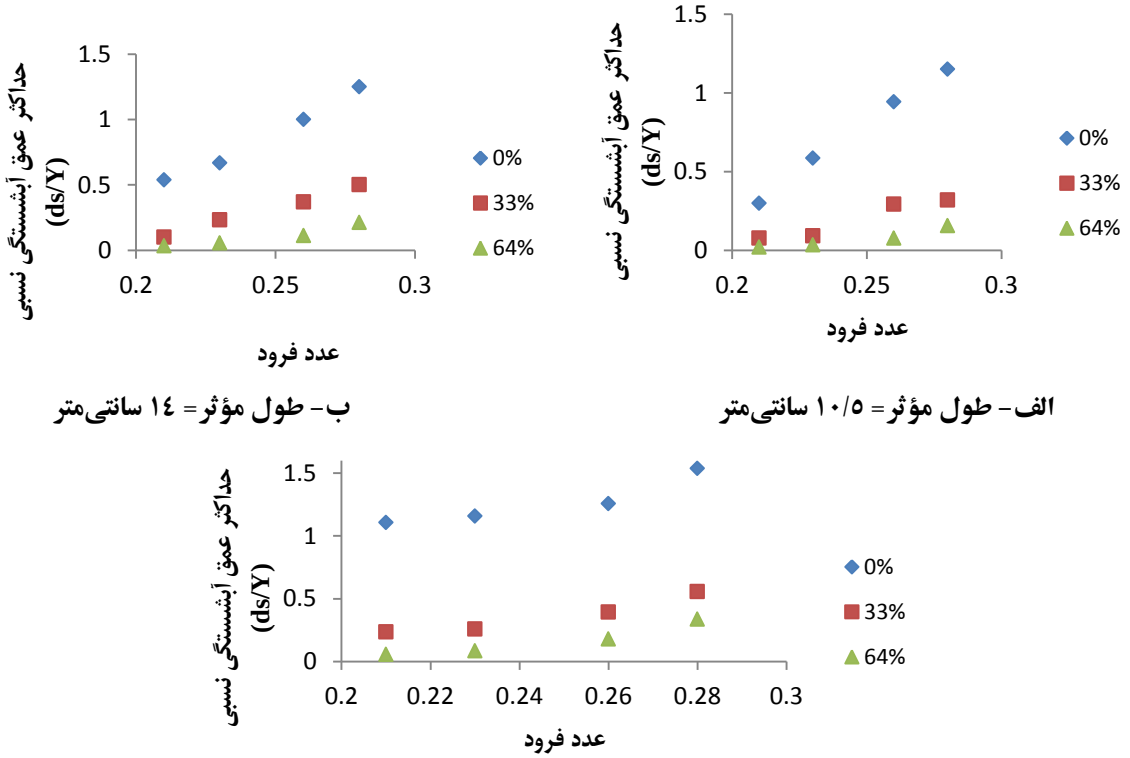
پارامتر	محدوده تغییرات
دبی جریان (Q)	۲۵-۲۷-۳۰-۳۳ (لیتر بر ثانیه)
عمق جریان (Y)	۱۴ (سانتی‌متر)
عدد فرود (Fr)	۰/۲۱-۰/۲۳-۰/۲۶-۰/۲۸
نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی (U/U_c)	۰/۷۱-۰/۷۷-۰/۸۸-۰/۹۴
نفوذپذیری (ϕ)	۰-۳۳-۶۴ درصد
متوسط ذرات رسوبی (D_{50})	۱/۵ (میلی‌متر)
زاویه قرارگیری (Θ)	۹۰
فاصله (a/L_e)	۴
طول مؤثر نسبی (L_e/B)	۰/۱۵-۰/۲-۰/۲۵

نتایج و بحث

نظر به اهداف این تحقیق و انجام ۳۶ آزمایش متفاوت سعی بر این شده تا تحلیل‌ها به نحوی انجام پذیرند که بتوان تا اندازه‌ای اهداف موردنظر که بررسی اثر طول، نفوذپذیری آب‌شکن و شرایط هیدرولیکی جریان بر ابعاد آبشستگی اطراف آب‌شکن می‌باشند، تامین گردند.

تأثیر تغییرات نفوذپذیری آبشکن بر ابعاد چاله آبشستگی

شکل ۵ (الف، ب و ج) نمودار بی بعد تغییرات حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن با درصد نفوذپذیری‌های مختلف (۰، ۳۳و ۶۴)، به ترتیب با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴و ۱۷/۵ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها دیده می‌شود که، با افزایش میزان نفوذپذیری آبشکن در هر سه طول مؤثر مختلف آبشکن، عمق آبشستگی نسبی به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. دلیل این امر آن است که آبشکن نفوذناپذیر، به صورت مانع غیرقابل 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 نفوذپذیر برخلاف آبشکن‌های نفوذناپذیر، بخشی از جریان از میدان آبشکن عبور می‌نماید و دیواره آبشکن، قسمتی از جریان را منحرف می‌کند که درنتیجه چاله فرسایشی کوچک‌تری را نسبت به حالت نفوذناپذیر سبب می‌گردد. علاوه بر این، با افزایش عدد فرود در هر سه طول مؤثر آبشکن، میزان حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که افزایش عدد فرود، باعث افزایش سرعت جریان و قدرت گردابه‌هایی که نزدیک بستر و اطراف صفحه آبشکن قرار دارند، می‌شود. به این ترتیب، تنش برشی اطراف آبشکن افزایش یافته و باعث افزایش حفره آبشستگی در اطراف آبشکن می‌گردد. با توجه به نتایج ارائه شده، در آبشکن با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴و ۱۷/۵ سانتی‌متر با افزایش نفوذپذیری به میزان ۳۳ درصد نسبت به حالت ۰ درصد (نفوذناپذیر)، حداکثر عمق آبشستگی در عدد فرود ۰/۲۸ به ترتیب به میزان ۷۲/۱، ۵۹/۸ و ۶۳/۷ درصد کاهش می‌یابد و همچنین با افزایش نفوذپذیری به میزان ۶۴ درصد نسبت به حالت ۰ درصد (نفوذناپذیر)، حداکثر عمق آبشستگی در عدد فرود ۰/۲۸ به ترتیب به میزان ۸۶/۴، ۸۲/۹ و ۷۸/۱ درصد کاهش می‌یابد.



الف- طول مؤثر= ۱۰/۵ سانتی‌متر

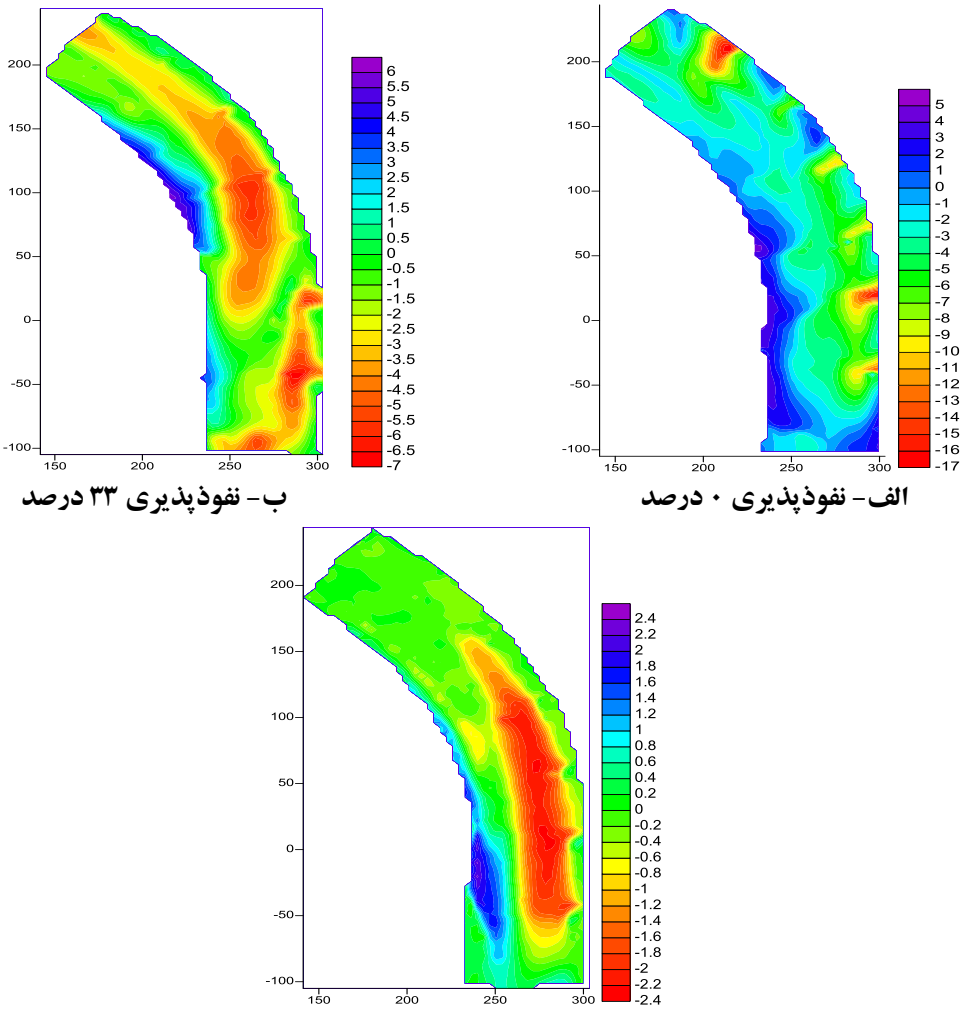
ب- طول مؤثر= ۱٤ سانتی‌متر

ج- طول مؤثر= ۱۷/۵ سانتی‌متر

شکل ۵- اثر نفوذپذیری آبشکن بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی برای طول‌های مؤثر متفاوت آب‌شکن

الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در قوس

به منظور مقایسه تغییرات توپوگرافی بستر در شرایط هیدرولیکی متفاوت، نمودارهای خطوط همتراز بستر توسط توسط نرم افزار سرفر ترسیم شده است. شکل ۶ (الف، ب و ج) به‌ترتیب الگوی فرسایش و رسوبگذاری در قوس برای آبشکن به طول مؤثر ۱۴ سانتی متر به ازای عدد فرود ۰/۲۸ در حالت ۰ درصد نفوذپذیری (نفوذناپذیر)، ۳۳ و ۶۴ درصد را نشان می‌دهد. در حالت آبشکن نفوذناپذیر، رسوبات حاصل از فرسایش در دماغه و اطراف آبشکن‌ها، توسط جریان ثانویه در ناحیه انتهای قوس داخلی ترسیب یافتند. کاهش سرعت جریان در بین آبشکن‌ها منجر به رسوبگذاری و تثبیت سواحل رودخانه می‌شود، که این مورد در آبشکن‌های ابتدایی هر سری نمود بیشتری دارد. رسوبات انتقال یافته از آبشستگی اطراف آبشکن‌ها در پایین دست هر آبشکن به صورت پشته‌ای رسوبی شکل می‌گیرد. در حالت آبشکن با نفوذپذیری، به علت انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز فلوم و قوس داخلی و در نتیجه افزایش تنش برشی بستر در میانه فلوم، باعث آبشستگی (کانال فرسایشی) در میانه و نزدیکی قوس داخلی فلوم شده است و در نیمه انتهایی قوس نوار فرسایشی به سمت قوس خارجی پیشروی کرده است و علاوه بر آن رسوبات حاصل از فرسایش نیز در میانه و انتهای قوس داخلی ترسیب یافتند.



الف- نفوذپذیری ۰ درصد

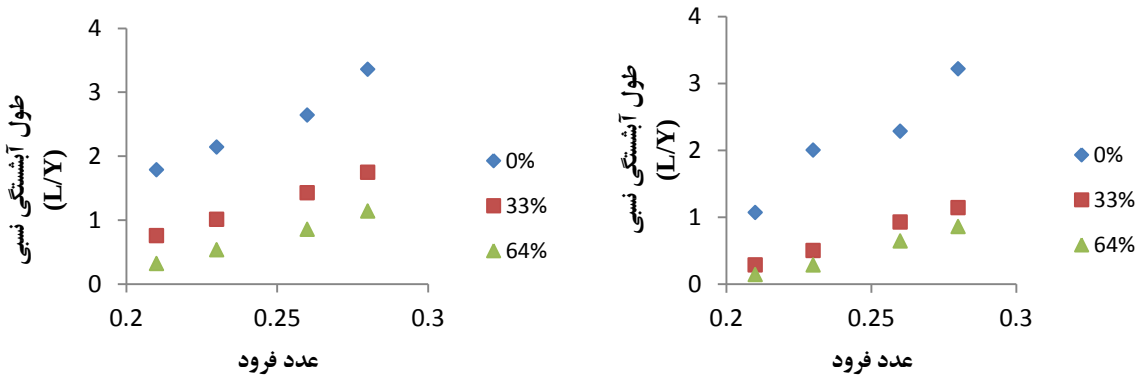
ب- نفوذپذیری ۳۳ درصد

ج- نفوذپذیری ٦٤ درصد

شکل ٦- تغییرات توپوگرافی بستر با سه درصد نفوذپذیری مختلف در آبشکن به طول مؤثر ١٤ سانتی‌متر به ازای عدد فرود ۰/۲۸

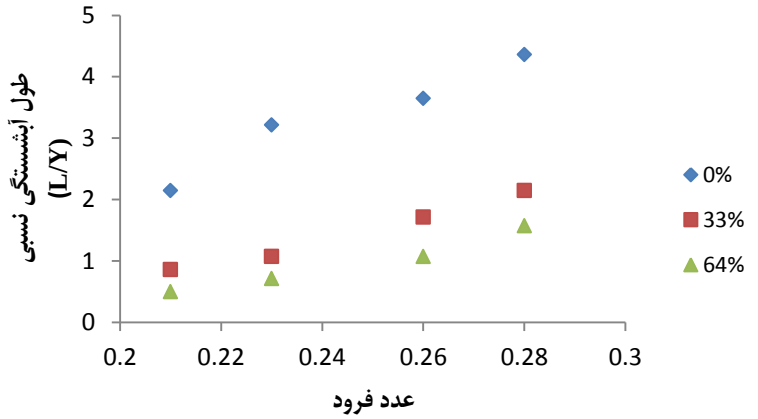
شکل‌های (۷) و (۸) (الف، ب و ج) به ترتیب تغییرات طول و عرض آبشستگی نسبی را تحت اثر تغییرات نفوذپذیری آبشکن برای طول‌های مؤثر متفاوت آب‌شکن نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که در هر سه طول مؤثر آبشکن افزایش نفوذپذیری باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در طول و عرض آبشستگی می‌شود. تغییرات طول آبشستگی نسبی، برای عدد فرود ۰/۲۸، با افزایش نفوذپذیری به میزان ۳۳ درصد، طول آبشستگی نسبی (L/Y) در آبشکن با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتی‌متر به ترتیب ۶۴/۴، ۴۷/۹ و ۵۰/۸ درصد، نسبت به حالت نفوذناپذیر، کاهش یافته است. همچنین در عدد فرود ۰/۲۸، با افزایش نفوذپذیری به میزان ۶۴ درصد، نسبت مزبور به ترتیب ۷۳/۳، ۶۶/۰ و ۶۳/۹ درصد، نسبت به حالت نفوذناپذیر، کاهش یافته است.

تغییرات عرض آبشستگی نسبی، برای عدد فرود ۰/۲۸، با افزایش نفوذپذیری به میزان ۳۳ درصد، عرض آبشستگی نسبی (W/Y) در آبشکن با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتی‌متر به ترتیب ۴۲/۲، ۳۸/۶ و ۲۹/۲ درصد، نسبت به حالت نفوذناپذیر، کاهش یافته است. همچنین در عدد فرود ۰/۲۸، با افزایش نفوذپذیری به میزان ۶۴ درصد، عرض آبشستگی نسبی (W/Y) در آبشکن با طول مؤثر ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ سانتی‌متر به ترتیب ۴۸/۹، ۴۷/۵ و ۴۰/۰ درصد، نسبت به حالت نفوذناپذیر، کاهش یافته است. همچنین، با افزایش انسداد مسیر اثر نفوذپذیری روی کاهش آب‌شستگی کمتر می‌گردد و این نکته نشان می‌دهد که انسداد مسیر اهمیت زیادی در افزایش آب‌شستگی دارد.



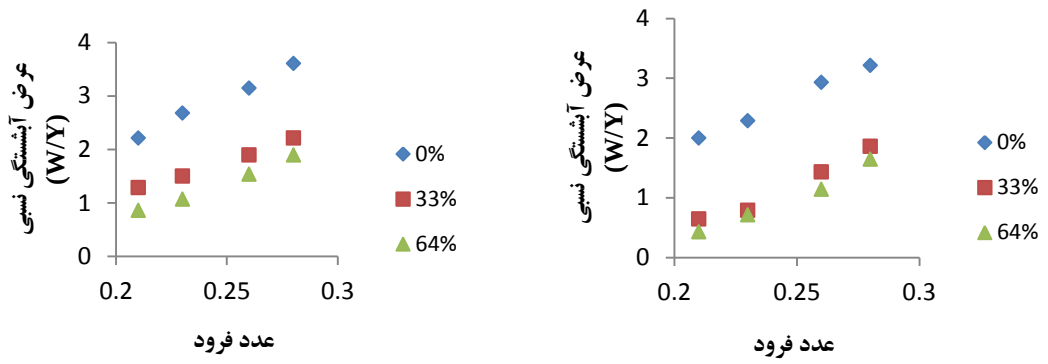
الف- طول مؤثر= ۱۰/۵ سانتی‌متر

ب- طول مؤثر= ١٤ سانتی‌متر



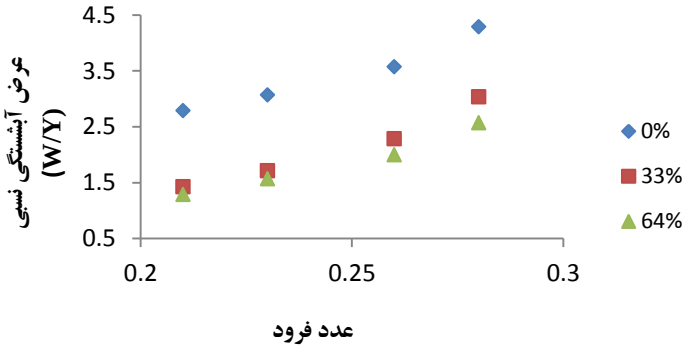
ج- طول مؤثر= ۱۷/۵ سانتی‌متر

شکل ۷- اثر نفوذپذیری آبشکن بر تغییرات حداکثر طول نسبی آبشستگی برای طول‌های مؤثر متفاوت آب‌شکن



الف- طول مؤثر= ۱۰/۵ سانتی‌متر

ب- طول مؤثر= ۱٤ سانتی‌متر

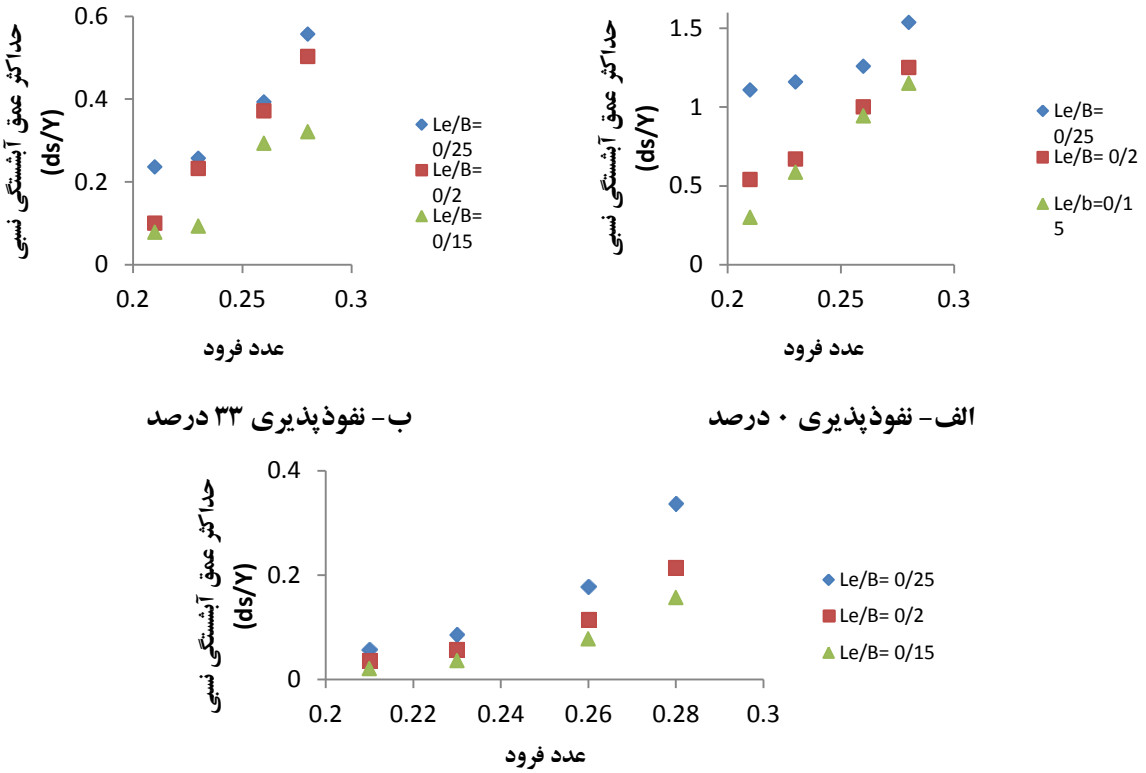


ج- طول مؤثر= ۱۷/۵ سانتی‌متر

شکل ۸- اثر نفوذپذیری آبشکن بر تغییرات حداکثر عرض نسبی آبشستگی برای طول‌های مؤثر متفاوت آب‌شکن

تأثیر تغییرات طول مؤثر آبشکن بر ابعاد چاله آبشستگی

آبشستگی در پنجه سازه‌هایی که به منظور کنترل آبشستگی در ساحل خارجی، مورد استفاده قرار می‌گیرند اگر بیش از نفوذ سازه در بستر باشد، باعث واژگونی و تخریب سازه و در نتیجه تخریب ساحل خارجی می‌شود. بنابراین بررسی عمق و حجم آبشستگی و عوامل مؤثر بر آنها بسیار مهم است. از جمله پارامترهای مهمی که بر حداکثر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن و نیز توپوگرافی بستر تأثیر مستقیم دارد طول آبشکن است. شکل ۹ (الف، ب و ج) اثر طول مؤثر آبشکن بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی را در آبشکن‌های بسته و باز نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش طول مؤثر آبشکن‌های بسته و باز، به علت افزایش تلاطم و تنش برشی بستر در مجاورت آبشکن، حداکثر عمق آبشستگی افزایش یافته است. لازم به ذکر است که اثر طول مؤثر بر تغییرات طول و عرض چاله‌ی آبشستگی نیز مشابه عمق آبشستگی بود و با افزایش طول مؤثر مقدار آن‌ها افزایش یافت. درصد کاهش حداکثر ابعاد چاله‌ی آبشستگی در آبشکن‌ها با طول مؤثر ۱۰/۵ و ۱۴ سانتی‌متر نسبت به طول مؤثر ۱۷/۵ سانتی‌متر، به ازای چهار عدد فرود مورد بررسی در جدول (۲) آورده شده است. شکل (۷، الف-) در حالت آبشکن بسته، حداکثر عمق آبشستگی در عدد فرود ۰/۲۸ در آبشکن با طول ۱۷/۵ سانتی‌متر معادل ۱/۵۴ برابر عمق جریان می‌باشد که ۱۸/۶ درصد بیشتر از آبشکن با طول ۱۴ سانتی‌متر و ۲۵/۱ درصد بیشتر از آبشکن با طول ۱۰/۵ سانتی‌متر است. شکل (۷، ب-) در حالت آبشکن با نفوذپذیری ۳۳ درصد، حداکثر عمق آبشستگی در آبشکن با طول ۱۷/۵ سانتی‌متر در عدد فرود ۰/۲۸ معادل ۰/۵۶ برابر عمق جریان می‌باشد که ۹/۷ درصد بیشتر از آبشکن با طول ۱۴ سانتی‌متر و ۴۲/۴ درصد بیشتر از آبشکن با طول ۱۰/۵ سانتی‌متر است. شکل (۷، ج-) در حالت آبشکن با نفوذپذیری ۶۴ درصد، بیشترین عمق آبشستگی در عدد فرود ۰/۲۸ در آبشکن با طول ۱۷/۵ سانتی‌متر معادل ۰/۳۴ برابر عمق جریان می‌باشد که ۳۶/۳ درصد بیشتر از آبشکن با طول ۱۴ سانتی‌متر و ۵۳/۳ درصد بیشتر از آبشکن با طول ۱۰/۵ سانتی‌متر است.



شکل ۹- اثر طول مؤثر آبشکن بر تغییرات حداکثر عمق نسبی آبشستگی برای نفوذپذیری‌های متفاوت

ارائه روابط تجربی برای تخمین ابعاد چاله آبشستگی

به منظور ارائه روابط تجربی برای تخمین ابعاد چاله آبشستگی، به وسیله نرم افزار اس پی اس اس از برازش مدل توانی بر ۸۰ درصد داده‌های حاصل از آزمایش‌ها بهره گرفته شد، از ۲۰ درصد داده‌ها نیز برای آزمون صحت سنجی استفاده شد. بدین ترتیب، روابط (۴)، (۵) و (۶) به ترتیب برای تخمین عمق آبشستگی نسبی، طول و عرض آبشستگی نسبی به‌دست آمدند:

$$\frac{d_s}{Y}= 45(\frac{L_e}{B})^{0.745}\,(F_r)^{1.862}\,(1\text{-}R)^{2.981} \qquad (۴)$$

$$\frac{L}{Y}= 100(\frac{L_e}{B})^{0.66}\,(F_r)^{1.836}\,(1\text{-}R)^{1.592} \qquad (۵)$$

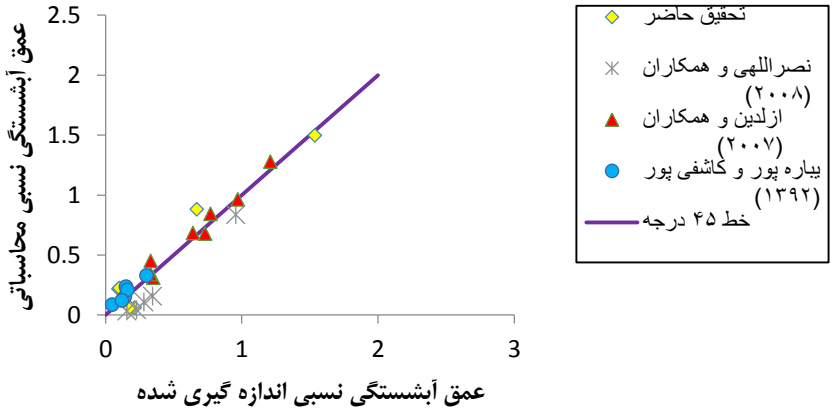
$$\frac{W}{Y}= 152.596(\frac{L_e}{B})^{0.717}\,(F_r)^{2.029}\,(1\text{-}R)^{0.827} \qquad (۶)$$

نتایج حاصل از تحلیل آماری روابط شامل مقادیر ضریب همبستگی (R^2)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و درصد خطای نسبی (%E) برای رابطه (۴) به ترتیب، ۰/۹۲، ۰/۱۴ و ۱۶/۵ برای رابطه (۵) به ترتیب، ۰/۹۱، ۰/۲۸ و ۱۴/۷۲ و در نهایت برای رابطه (۶) به ترتیب، ۰/۸۸، ۰/۲۸ و ۱۱/۶۹ محاسبه شدند. با بررسی سه رابطه مزبور و توان مربوط به هر یک از پارامترهای طول مؤثر نسبی، عدد فرود و درصد نفوذپذیری در این روابط، مشخص می‌شود که عدد فرود و درصد نفوذپذیری بیشترین اثر را روی ابعاد چاله آبشستگی دارند. در واقع، اثر پارامتر طول مؤثر نسبی بر ابعاد چاله آبشستگی، نسبت به دو پارامتر دیگر کمتر می‌باشد. علاوه بر آن، با دقت به توان پارامتر طول مؤثر نسبی و عدد فرود می‌توان نتیجه گرفت که اثر پارامتر طول مؤثر نسبی و عدد فرود روی طول چاله آبشستگی کمتر از میزان اثر این پارامتر بر روی عمق و عرض چاله آبشستگی است. همچنین با توجه به توان پارامتر درصد نفوذپذیری نیز می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر درصد نفوذپذیری بر عرض چاله آبشستگی نسبت به اثر پارامتر مزبور بر عمق و طول چاله آبشستگی کمتر است.

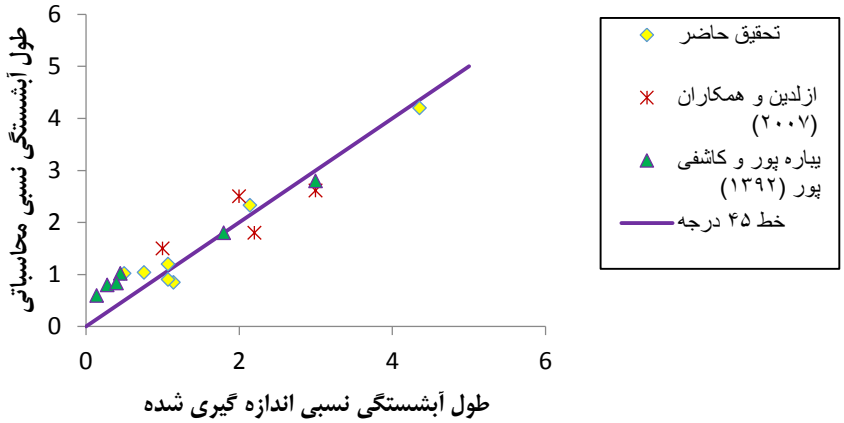
جدول ۲- درصد کاهش ابعاد آبشستگی در آبشکن‌ها با طول مؤثر ۱۰/۵ و ۱٤ سانتی‌متر نسبت به طول مؤثر ۱۷/۵ سانتی‌متر

طول مؤثر آبشکن (سانتی‌متر)	عدد فرود	درصد نفوذپذیری آبشکن	درصد کاهش عمق آبشستگی نسبی	درصد کاهش طول آبشستگی نسبی	درصد کاهش عرض آبشستگی نسبی
۱۴	۰/۲۱	۰	۵۱	۱۷	۲۱
	۰/۲۳	۰	۴۲	۳۳	۱۳
	۰/۲۶	۰	۲۰	۲۷	۱۲
	۰/۲۸	۰	۱۹	۲۳	۱۶
۱۰/۵	۰/۲۱	۰	۷۳	۵۰	۲۸
	۰/۲۳	۰	۴۹	۳۸	۲۶
	۰/۲۶	۰	۲۵	۳۷	۱۸
	۰/۲۸	۰	۲۵	۲۶	۲۳
۱۴	۰/۲۱	۳۳	۵۸	۱۲	۱۰
	۰/۲۳	۳۳	۱۰	۵	۱۲
	۰/۲۶	۳۳	۶	۱۷	۱۷
	۰/۲۸	۳۳	۱۰	۱۸	۲۷
۱۰/۵	۰/۲۱	۳۳	۶۷	۶۷	۵۵
	۰/۲۳	۳۳	۶۴	۵۳	۵۴
	۰/۲۶	۳۳	۲۵	۴۶	۳۸
	۰/۲۸	۳۳	۴۲	۴۷	۳۹
۱۴	۰/۲۱	۶۴	۳۷	۳۶	۳۳
	۰/۲۳	۶۴	۳۴	۲۵	۳۲
	۰/۲۶	۶۴	۳۶	۲۰	۲۳
	۰/۲۸	۶۴	۳۶	۲۷	۲۶
۱۰/۵	۰/۲۱	۶۴	۶۳	۷۱	۶۷
	۰/۲۳	۶۴	۵۸	۶۰	۵۵
	۰/۲۶	۶۴	۵۶	۴۰	۴۳
	۰/۲۸	۶۴	۵۳	۴۵	۳۶

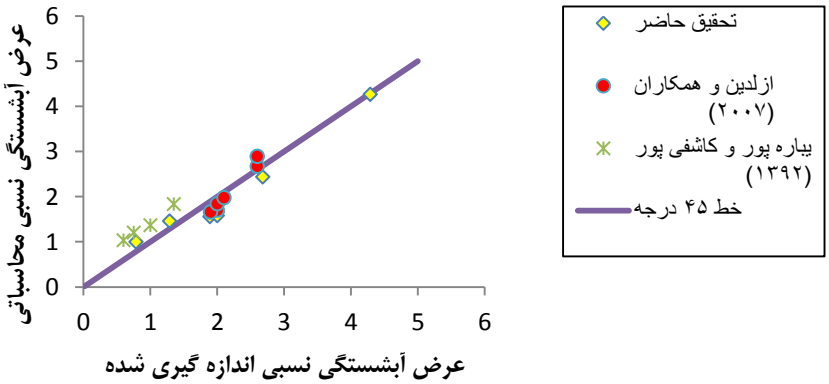
شکل ۱۰ (الف، ب و ج) به ترتیب مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده عمق آبشستگی نسبی و مقادیر حاصل از رابطه (۴)، مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده طول آبشستگی نسبی و مقادیر حاصل از رابطه (۵) و مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده عرض آبشستگی نسبی و مقادیر حاصل از رابطه (۶) را نسبت به خط ۴۵ درجه نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها، بین مقادیر محاسبه شده از روابط (۴)، (۵) و (۶) و مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیقات نصراللهی و همکاران (۲۰۰۸)، ازلدین و همکاران (۲۰۰۷) و پیاره پور و کاشفی پور (۱۳۹۲) تفاوت کمی وجود دارد به علت اینکه این تحقیقات در مسیر مستقیم انجام گرفته در حالی‌که تحقیق حاضر در مسیر قوسی ۹۰ درجه ملایم صورت گرفته است. علاوه بر این، در تحقیق نصراللهی و همکاران (۲۰۰۸)، محدوده عدد فرود در این آزمایش نسبت به محدوده اعداد فرود در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر بیشتر می‌باشد. در تحقیق نصراللهی و همکاران (۲۰۰۸) و ازلدین و همکاران (۲۰۰۷) از تک آبشکن استفاده شده در حالی‌که تحقیق حاضر توسط سری آبشکن‌ها صورت گرفته است. با وجود اینکه شرایط آزمایش‌های انجام شده در تحقیقات به‌کار گرفته شده متفاوت از تحقیق حاضر است، مدل به‌دست آمده از قابلیت نسبتا خوبی برای پیش‌بینی عمق، طول و عرض آبشستگی نسبی برخوردار می‌باشد.



الف- مقایسه مقادیر $\frac{d_s}{Y}$ اندازه‌گیری شده و حاصل از مدل سایر محققین و تحقیق حاضر



ب- مقایسه مقادیر $\frac{L}{Y}$ اندازه‌گیری شده و حاصل از مدل سایر محققین و تحقیق حاضر



ج- مقایسه مقادیر $\frac{W}{Y}$ اندازه‌گیری شده و حاصل از مدل سایر محققین و تحقیق حاضر

شکل ۱۰- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده ابعاد چاله آبشستگی نسبی و مقادیر حاصل از روابط (٤)، (٥) و (٦)

نتیجه گیری

– در هر سه حالت نفوذپذیری (۰، ۳۳ و ۶۴ درصد)، با افزایش طول مؤثر آبشکن، ابعاد چاله آبشستگی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. همچنین، بیشترین و کمترین ابعاد چاله آبشستگی مربوط به آبشکن با طول مؤثر ۱۷/۵ و ۱۰/۵ سانتی‌متر می‌باشد.

– با افزایش عدد فرود در هر سه حالت طول مؤثر به ازای هر سه حالت نفوذپذیری، تمرکز تنش در ناحیه تنگ‌شدگی مقطع (محل استقرار آبشکن) بیشتر و درنتیجه تغییرات توپوگرافی بستر ناشی از آبشستگی موضعی محسوس‌تر می‌باشد؛ و نیز با افزایش عدد فرود جریان و درنتیجه قدرت حمل رسوبات ابعاد چاله‌ی آبشستگی در محل استقرار آبشکن افزایش می‌یابد.

– در هر سه حالت طول مؤثر آبشکن، ۱۵، ۲۰و ۲۵ درصد عرض فلوم معادل ۱۰/۵، ۱۴و ۱۷/۵ سانتی‌متر، با افزایش نفوذپذیری، ابعاد چاله آبشستگی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

– با افزایش طول مؤثر آبشکن در حالت نفوذناپذیر، علاوه بر افزایش میزان حجم آبشستگی در انتهای قوس خارجی، بر میزان آبشستگی در ناحیه ابتدایی قوس خارجی (نیمه اول قوس) نیز افزوده می‌گردد. در هر سه حالت طول مؤثر آبشکن با ۳۳ و ۶۴ درصد نفوذپذیری، بیشترین میزان آبشستگی در ناحیه انتهایی قوس خارجی به وقوع پیوسته است.

– عدد فرود و درصد نفوذپذیری بیشترین اثر را بر ابعاد چاله آبشستگی دارند. در واقع، اثر پارامتر طول مؤثر نسبی بر ابعاد چاله آبشستگی، نسبت به دو پارامتر دیگر کمتر می‌باشد.

منابع

۱- بی‌نام، ۱۳۸۷. مبانی طراحی سازه‌های کنترل فرسایش در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، نشریه ۴۱۷، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور.

۲- شهابی، م. و س.م. کاشفی‌پور، ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی اثر نفوذپذیری سری آبشکن‌ها بر روی ابعاد چاله آبشستگی در شرایط غیر مستغرق در قوس ۹۰ درجه ملایم، مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری، ۳۹ (۴): ۲۱-۱۳.

۳- موسوی، ک.و م. قدسیان، ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تأثیر شعاع انحنای نسبی کانال بر آبشستگی بستر در خم ۹۰ درجه، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، سال دهم، (۲): ۱۴۷-۱۳۵.

۴- مهرنهاد، ع. و م. قدسیان، ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی اثر عدد فرود جریان بر آبشستگی و تغییرات توپوگرافی بستر در مسیر مستقیم به دلیل استقرار آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه، انجمن علوم و مهندسی منابع آب، تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، (۲): ۷۹-۷۱.

۵- یباره‌پور، ا. و س.م. کاشفی‌پور، ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی تأثیر نفوذپذیری آبشکن روی ابعاد چاله فرسایشی، نشریه دانش آب و خاک، ۲۴ (۳): ۴۰-۲۷.

6- Ezzeldin, M. M., Saafan, T.A., Rageh, O.S. and L.M. Nejm. 2007. 11thInternational water technology conference, Sharm El-sheikh, Egypt.

7- Nasrollahi, A., Godsian, M. and S.S.A. Salehi Neyshabouri. 2008. Local scours at permeable spur dikes. Journal of Applied Siences, 8(19): 3398-3406.

8- Osman, M.A. and H. Negmaldin Saeed. 2012. Local scour depth at the nose of permeable and impermeable spur dykes. University of Khartoum Engineering Journal, 2(1): 1-9.

9- Zhang, H. and H. Nakagawa. 2008. Scour around spur dykes: Recent advances and future researches, Annuals of the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 51B:171-188.

Irrigation Sciences and Engineering Vol.40, No. 3, Fall 2017, p. 35-48

Shahid Chamran University of Ahvaz

EXTENDED ABSTRACT

Experimental Study on Effects of Permeability and Spur Dike Series Length on Scour-Hole Dimensions in a 90° mild bend under non-submerged conditions

M.Champour[1] and S.M.Kashefipour[2]

1- M.Sc., Student of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, of Ahvaz, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, of Ahvaz, Iran. Kashefipour@scu.ac.ir

Received:8 January 2016 Accepted: 28 May 2016

Keywords: Permeable spur dike, Scouring, River bend, River bank protection.

Introduction:

River changes happen due to the periodic erosion and sedimentation along river bed, destruction and widening of river banks, movement of the meandering pattern and flow direction, changing of river form (braided, sinusoidal, and straight), and shortcut or diversion of river path. One of the common hydraulic structures for erosion controlling in river bend is spur dike. Ezzeldin et al (2007) conducted experiments on a permeable spur dike to investigate the effect of the fluctuation ratio and the angle of attack on the scour hole dimensions. Based on the obtained results, for the same flow conditions and the degree of tightness, a 30-degree angle has been found to have a good effect on scour depth reduction in the nose and controlling coastal erosion. Nasrollahi et al (2008) examined the experimental investigation on the scouring hole around permeable and impermeable spur dikes. Based on the dimensional analysis, the important parameters affecting the scour hole are Froude number, permeability of the spur dike, and the ratio of flow depth to the length of the spur dike, the ratio D50 to the spur dike length and the channel width-to-length ratio. The results showed a significant reduction in the maximum permeability of scour depth compared to an impermeable spur dike, and there were also relationships for maximum scour depth.

Methodology

In this study, 36 experiments were conducted to investigate the effect of effective length and permeability of permeable spurs on the dimensions of scour-hole around them (table 1). In this research study, the effect of spur dike permeability of (0, 33 and 64%) and length (10.5, 14 and 17.5cm) corresponding to (0.15, 0.2 and 0.25 of flume width) on scour-hole dimensions was investigated for four Froude numbers of (0.21, 0.23, 0.26, and 0.28) in a 90° mild bend.

Table 1- General pattern of experiments

Parameter	Range of changes
Flow (Q)	25-27-30-33 (lit/s)
Flow depth (Y)	14 (cm)
Froude number (Fr)	0.21-0.23-0.26-0.28
The ratio of the flow speed to the critical speed (U/U_c)	0.71-0.77-0.88-0.94
Permeability (ϕ)	0-33-64%

Average sedimentary particles(D_{50})	1.5 (mm)
Angle of position(Θ)	90
Distance (a/L_e)	4
Effective relative length (L_e/B)	0.15-0.2-0.25

Results and Discussion

The results show that for a constant Froude number, the scour-hole dimensions decreased by increasing of the spur permeability for different lengths. For instance, for spur dike with a length of 14 cm with 33% permeability, the maximum depth, length and width of scour area were decreased 59.8%, 47.9%, and 38.6%, respectively in comparison with 0% permeability (impermeable spur dike) for Froude number equal to 0.28. The corresponding values for the spurs with 64% permeability were 82.9%, 66%, and 47.5%. For any size of permeability, the dimensions of scour area around the spurs were significantly increased with increasing of the spur length, as the maximum scour dimensions were obtained for the spurs with 17.5cm length and the minimum one for the length of 10.5cm. The percentage reduction in the maximum dimensions of the scour-hole in spur dike with an effective length of 10.5 and 14 cm, compared to an effective length of 17.5 cm, is given in Table (2) for the four Froude numbers. It was also observed that the hole dimensions were increased with increasing of the Froude number, and the critical area for scouring was the ending part of the bend.

Table 2- The reduction percentage of scouring in spur dikes with an effective length of 10.5 and 14 cm, compared to an effective length of 17.5 cm

The spur dike effective length (cm)	Froude number	Permeability of the spur dike	Reduction percentage of scour depth	Reduction percentage of scour length	Reduction percentage of scour width
14	0.21	0	51	17	21
	0.23	0	42	33	13
	0.26	0	20	27	12
	0.28	0	19	23	16
10.5	0.21	0	73	50	28
	0.23	0	49	38	26
	0.26	0	25	37	18
	0.28	0	25	26	23
14	0.21	33	58	12	10
	0.23	33	10	5	12
	0.26	33	6	17	17
	0.28	33	10	18	27
10.5	0.21	33	67	67	55
	0.23	33	64	53	54
	0.26	33	25	46	38
	0.28	33	42	47	39
14	0.21	64	37	36	33
	0.23	64	34	25	32
	0.26	64	36	20	23
	0.28	64	36	27	26
10.5	0.21	64	63	71	67
	0.23	64	58	60	55
	0.26	64	56	40	43
	0.28	64	53	45	36

Conclusions

- For any size of permeability (0, 33, and 64 percent), the dimensions of scour area around the spurs were profoundly increased by increasing of the spur length, as the maximum scour dimensions were obtained for the spurs with 17.5cm length and the minimum one for the length of 10.5cm.

- By increasing of the Froude number in all three effective lengths for all three permeability modes, the stress concentration in the area of the constriction of the section (spur dike confirmation location) is greater and as a result of the bed topographic changes caused by local scouring, as well as increasing the Froude number of landings and, consequently, the power of carrying sediments increases the size of the scour-hole at the location of the depletion of the spur dike.

- In all three effective spur dikes, 15, 20 and 25% of the flume width are 10.5, 14, and 17.5 cm, with increasing of the permeability, the scour hole size significantly decreases.

References

10- Ezzeldin, M. M., Saafan, T.A., Rageh, O.S. and L.M. Nejm. 2007. 11th International water technology conference, Sharm El-sheikh, Egypt.

11- Nasrollahi, A., Godsian, M. and S.S.A. Salehi Neyshabouri. 2008. Local scours at permeable spur dikes. Journal of Applied Siences, 8(19): 3398-3406.