

بررسی آزمایشگاهی ابعاد هندسی چاله آبستگي در آبشکن‌های مختلف در قوس ۹۰ درجه در شرایط غیر مستغرق

سمیه رحیمی^{۱*} - سید محمود کاشفی پور^۲ - محمود شفاعی بيجستان^۳ - احمد فتحی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۲۴

چکیده

به دلیل وجود جریان‌های ثانویه در انحناء رودخانه، دیواره خارجی در پیچ همواره در معرض تخریب و فرسایش می‌باشد. روش‌های متعددی جهت مقابله با فرسایش قوس خارجی وجود دارد که یکی از ساده‌ترین و در عین حال اقتصادی‌ترین این روش‌ها استفاده از آبشکن می‌باشد. آبشکن به عنوان مانعی در مسیر جریان با کاهش سرعت و ایجاد گردابه‌های افقی در بین آبشکن‌ها باعث رسوبگذاری و حفاظت دیواره آبراهه می‌گردد. از طرفی این گردابه‌ها باعث افزایش تنش برشی شده و افزایش فرسایش و آبستگي را در اطراف آبشکن به خصوص در دماغه به همراه خواهد داشت. در این تحقیق به بررسی هندسه چاله آبستگي پیرامون آبشکن‌های نفوذپذیر و باندال لایک^۵ که به صورت ترکیبی از آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشد، در قوس ۹۰ درجه ملایم و در شرایط غیر مستغرق پرداخته شده است. برای این منظور در یک فلوم قوسی ۹۰ درجه و ملایم (نسبت شعاع قوس به عرض کانال برابر ۴) و دارای بستر رسوبی با قطر متوسط ۱/۵ میلی‌متر و در شرایط آب زلال، آزمایش‌ها طراحی و انجام شد. بازه تغییرات عدد فرود در آزمایش‌های انجام شده بین ۰/۲۲ تا ۰/۲۹ متغیر می‌باشد. نتایج بیانگر این بود که با افزایش درصد نفوذپذیری میزان حداکثر ابعاد چاله آبستگي کاهش می‌یابد. ضمناً افزایش عدد فرود جریان باعث افزایش ابعاد چاله آبستگي شده که این تاثیر در آبشکن‌های نفوذپذیر و باندال لایک کمتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: باندال لایک، حفاظت دیواره رودخانه، قوس آبراهه

مقدمه

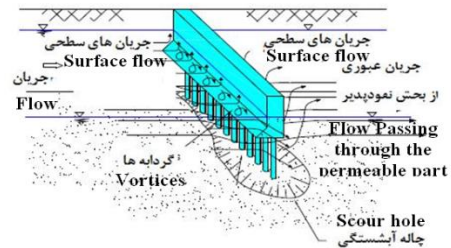
هزینه و وقت زیاد همراه است.

سازه باندال لایک یک جاگزین کم هزینه برای آبشکن‌های مرسوم تلقی می‌شود. این سازه به طور معمول به منظور بهبود بخشیدن به شرایط کشتیرانی در بتگلادش نزدیک به شبه قاره هند استفاده می‌گردد. باندال لایک‌ها با استفاده از ساقه‌های بامبو یا قطعه‌های چوب ساخته شده و روش ساخت این سازه‌ها در مقایسه با آبشکن‌های نفوذناپذیر که معمولاً از مصالح گران قیمت نظیر بتن ساخته می‌شوند بسیار ساده‌تر می‌باشد. سازه باندال لایک به صورت ترکیبی از دو قسمت نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشد. که قسمت بالایی آن (بخش نفوذناپذیر) جریان نزدیک سطح آب (جریان با سرعت بالا) را به میانه رودخانه منتقل می‌نماید و باعث ایجاد جریان متلاطم چرخشی و گردابی در اطراف سازه خواهد گردید که شامل مؤلفه جریان رو به پایین و گردابه‌های نعل اسبی می‌باشد که عامل اصلی

جریان در رودخانه‌ها و مجاری باز در مسیر حرکت خود علاوه بر عبور از مسیرهای مستقیم ملزم به گذر از مسیرهایی با انحنای مختلف می‌باشد. از مشخصه‌های بارز جریان در قوس رودخانه، وجود جریان ثانویه است که تاثیر به سزایی در الگوی جریان و شکل‌گیری بستر رودخانه دارد. با توجه به هیدرولیک جریان در خم رودخانه‌ها، قوس خارجی همواره تحت تاثیر بردارهای شدید سرعت بوده و دچار فرسایش می‌گردد و در قوس داخلی رسوبگذاری اتفاق می‌افتد. یکی از وظایف مهم در مهندسی رودخانه حفاظت قوس خارجی از شروع و توسعه تخریب می‌باشد. یکی از روش‌های تثبیت ساحل در قوس خارجی رودخانه استفاده از آبشکن است و معمولاً با اهدافی نظیر کنترل سیلاب، حفاظت از سواحل رودخانه و بهبود شرایط کشتیرانی اجرا می‌گردد. با این حال، ساخت و نگهداری چنین سازه‌هایی با صرف

هیدرولیکی و مورفولوژیکی به بررسی آزمایشگاهی سازه باندا لایک و اثر بخشی آن بر حفاظت ساحل در طول رودخانه جامونا در بنگلادش پرداختند و دریافتند این سازه می تواند به نحوه مؤثری رسوبگذاری در ساحل را افزایش دهد. تراگوچی و همکاران (۹ و ۱۰) تحقیقات آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی خود را در زمینه ی تاثیر این سازه بر روی مورفولوژی رودخانه در کانال اصلی انجام دادند. در این تحقیق خصوصیات الگوی جریان در اطراف این سازه به صورت مستغرق و غیر مستغرق، آبشستگی موضعی و حفاظت از سواحل در مقابل فرسایش مورد بررسی قرار گرفت همچنین این نتایج با نتایج آزمایش هایی که بر روی آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر انجام شده بود مورد مقایسه واقع شد. آزمایش های مربوط به تحقیق تراگوچی و همکاران (۹) در یک فلوم به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۲۸ متر (عمق منطقه مورد آزمایش ۰/۴۵ متر) و دارای بستر رسوبی با قطر متوسط ذرات ۰/۸۳۵ میلی متر و با در نظر گرفتن زمان تعادل ۶ ساعت و در شرایط بستر زنده طراحی و اجرا شد. نتایج نشان داد این سازه در مقایسه با آبشکن های نفوذناپذیر چاله آبشستگی کوچک تری را ایجاد می کند همچنین به دلیل اینکه بخش پایینی سازه نفوذپذیر است رسوبات معلق از این بخش عبور کرده و در پایین دست سازه ته نشین می شوند. از این رو این سازه در رودخانه های آبرفتی می تواند کارایی خوبی در جهت حفاظت از سواحل و بستر رودخانه داشته باشد. در نهایت این محققین یک مدل سه بعدی جهت شبیه سازی جریان و آبشستگی در اطراف آبشکن ارائه کردند و توانستند توزیع سرعت و رسوبگذاری را اطراف سازه در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق بررسی کنند. شجاعیان و همکاران (۸) تاثیر درصد نفوذپذیری بر روی حداکثر عمق آبشستگی در اطراف سازه باندا لایک را در شرایط غیر مستغرق و در مسیر مستقیم مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه آزمایش ها در شرایط آب زلال و با در نظر گرفتن ۴ درصد نفوذپذیری (α) و ۴ دبی مختلف انجام گرفته است. در همه آزمایش ها طول آبشکن (L) و نسبت فاصله به طول آبشکن (S/L) ثلث و به ترتیب ۲۰ درصد عرض کلنال و ۳ در نظر گرفته شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن های نفوذناپذیر به مراتب بیشتر از آبشکن ها از نوع باندا لایک می باشد. آنها گزارش کرده اند که کمترین مقدار کاهش عمق نسبی آبشستگی در باندا لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر ۳۴/۲ درصد می باشد که این مقدار کاهش در نفوذپذیری ۳۰ درصد و عدد فرود ۰/۲۴ اتفاق می افتد و بیشترین مقدار آن معادل ۹۴/۸ درصد که در نفوذپذیری ۶۴ درصد و عدد فرود ۰/۱۸ رخ داده است. مطالعات گذشته بیانگر فقدان تحقیقات در مورد سازه باندا لایک

آبشستگی به حساب می آیند. قسمت پایینی سازه همانند یک آبشکن نفوذپذیر عمل کرده و امکان عبور خطوط جریان از میدان آبشکن را فراهم می نماید و باعث کاهش سرعت جریان در این قسمت می گردد. کاهش سرعت عبوری در این بخش تا اندازه ای ته نشینی رسوبات در پایین دست سازه را به دنبال خواهد داشت (شکل ۱). بدیهی است که عمق چاله فرسایشی به لحاظ نفوذپذیر بودن سازه (در بخش پایینی) در مقایسه با آبشکن های بسته به طور محسوسی کمتر است.

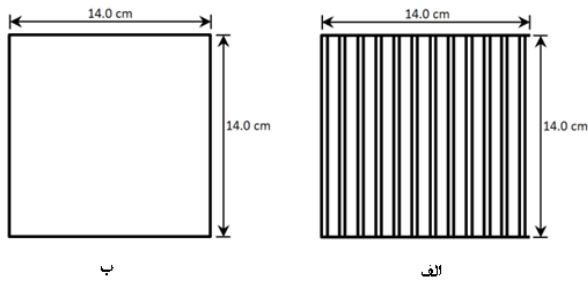


شکل ۱- الگوی جریان در اطراف سازه باندا لایک تراگوچی (۹)
Figure 1- Flow structure around the bandal-like, Teraguchi (9)

مطالعات انجام گرفته در خصوص سازه باندا لایک در مقایسه با سایر سازه های اصلاح کننده الگوی جریان اعم از: انواع آبشکن ها، سرریز مستغرق^۲، صفحات مستغرق^۳ و غیره محدود بوده و از طرف دیگر این مطالعات برای کانال ها یا آبراهه هایی در مسیرهای مستقیم انجام شده است.

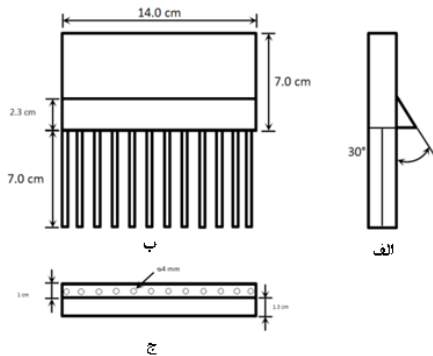
اولین تحقیق در مورد بکارگیری سازه باندا لایک در مسیر مستقیم توسط رحمان و همکاران (۲) انجام گرفت. در ادامه رحمان و همکاران (۳، ۴ و ۵) مطالعات آزمایشگاهی در خصوص سازه باندا لایک تحت شرایط آبشستگی آب زلال و بستر زنده انجام دادند. در این تحقیق ها به بررسی الگوی آبشستگی و انتقال رسوبات در اطراف سازه باندا لایک با استفاده از مدل تحلیلی پرداختند و با استفاده از نتایج آزمایشگاهی مدل را از نظر صحت و دقت مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این صحت سنجی نشان داد که تطابق خوبی بین داده های مدل و نتایج آزمایشگاهی وجود دارد. همچنین تجزیه تحلیل اطلاعات میدانی و تحقیقات آزمایشگاهی آنها نشان داد که الگوی جریان در اطراف این سازه در مقایسه با آبشکن های نفوذناپذیر متفاوت است. شارمین و همکاران (۷) بر روی جنبه های کاربردی این سازه و بررسی الگوی جریان و رسوبگذاری در نزدیک سازه، تحقیقات میدانی را انجام دادند. ژانگ و همکاران (۱۲) در تحقیقی مدل ریاضی ۳ بعدی جهت محاسبه انتقال رسوب معلق و الگوی جریان اطراف سازه باندا لایک را تهیه کردند. ژانگ و همکاران (۱۳) از نظر

Figure 2- Plan view of the physical model (Dimensions in meters)



شکل ۳- نمای سازه‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر الف: آبشکن نفوذپذیر ب: آبشکن نفوذناپذیر

Figure 3- Details of structures used in this study (right: permeable spur dike; left: impermeable spur dike)



شکل ۴- نمای سازه باندا لایک الف: نمای جانبی، ب: نما از جلو، ج: پلان

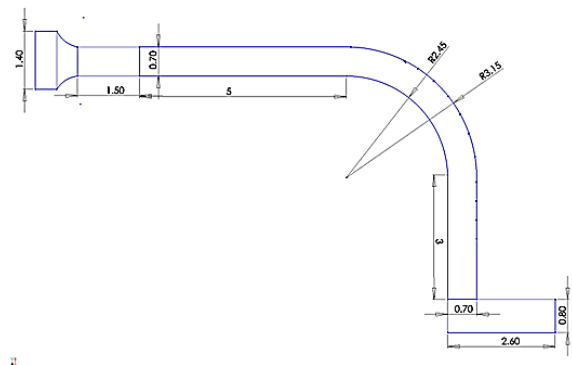
Figure 4- Details of bandal-like structure (left top: front view; left bottom: top view; right: side view)

در تمامی آزمایش‌ها شرایط آب زلال حاکم بود. به منظور تعیین زمان تعادل یک آزمایش طولانی مدت با بازه زمانی بیش از ۱۱ ساعت انجام پذیرفت. نظر به اینکه بیش از ۹۰ درصد آبشستگی در ۳ ساعت ابتدایی آزمایش اتفاق افتاد، لذا مدت زمان انجام هر آزمایش ۳ ساعت در نظر گرفته شد. در ابتدای هر آزمایش با استفاده از یک ارابه متحرک، بستر کانال مسطح می‌گردید. از آنجا که سرعت اولیه جریان ممکن بود باعث آبشستگی شدید اطراف آبشکن‌ها گردد، دریاچه کشویی انتهای فلوم کاملاً بسته شده، و جریان با دبی کم و به آرامی به داخل فلوم منتقل می‌گردید. پس از بالا آمدن سطح آب در کانال، به صورت تدریجی جریان تا دبی مورد نظر افزایش می‌یابد. پس از تنظیم دبی، عمق مورد نظر (یعنی ۱۴ سانتیمتر، که در تمامی آزمایش‌ها ثابت می‌باشد) توسط دریاچه کشویی انتهای فلوم تنظیم می‌گردید. در انتهای آزمایش نیز با خاموش کردن پمپ، جریان به صورت تدریجی از کانال خارج و زهکشی کانال به طور کامل انجام می‌پذیرفت سپس توپوگرافی بستر با استفاده از متر لیزری مدل

مستقر در قوس است. در این مقاله به بررسی هندسه حفره آبشستگی پیرامون آبشکن‌های نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندا لایک در یک قوس ۹۰ درجه ملایم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در کنالی با قوس ۹۰ درجه در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. شکل ۲ پلان و هندسه قوس مورد نظر را نشان می‌دهد. این کانال از یک قسمت مستقیم به طول ۵ متر در بالادست و همچنین قسمت مستقیمی به طول ۳ متر در پایین دست تشکیل می‌شود که این دو مسیر مستقیم توسط قوس ۹۰ درجه به شعاع انحنای داخلی ۲/۴۵ و خارجی ۳/۱۵ متر به هم متصل گردیده است. نسبت شعاع متوسط قوس به عرض کنال (۰/۷ متر) برابر ۴ (قوس ملایم) و ارتفاع آن ۸۰ سانتی‌متر است. کف کانال از رسوباتی با D_{50} معادل ۱/۵ میلی‌متر و انحراف معیار ۱/۲۲ پوشیده شده است. دبی جریان به وسیله یک دبی سنج اولتراسونیک اندازه‌گیری و کنترل می‌گردد. برای کنترل عمق جریان از یک دریاچه کشویی که در انتها کانال نصب گردیده استفاده شد. بخش نفوذناپذیر آبشکن‌ها از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و برای ساخت قسمت نفوذپذیر از مفتول‌هایی به قطر ۴ میلی‌متر استفاده شد. به منظور بهبود عملکرد سازه باندا لایک در مرز بین قسمت نفوذپذیر و نفوذناپذیر یک صفحه از جنس چوب و با زاویه ۳۰ درجه نسبت به محور عمودی قرار گرفته است. طول آبشکن (L) معادل ۱۴ سانتی‌متر یعنی ۲۰ درصد عرض مقطع انتخاب گردید (شکل ۳ و ۴). به منظور بررسی ابعاد هندسی چاله آبشستگی از ۵ سری آبشکن (نفوذناپذیر، نفوذپذیر، با درصد نفوذپذیری ۳۳ و ۶۴ درصد و باندا لایک با درصد نفوذپذیری ۳۳ و ۶۴ درصد) استفاده گردید. در این تحقیق زاویه استقرار محور آبشکن نسبت به جهت جریان اصلی ۹۰ درجه و نسبت (S/L) (S فاصله بین دو آبشکن)، ۴ در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- پلان مدل فیزیکی مورد استفاده (ابعاد بر حسب متر)

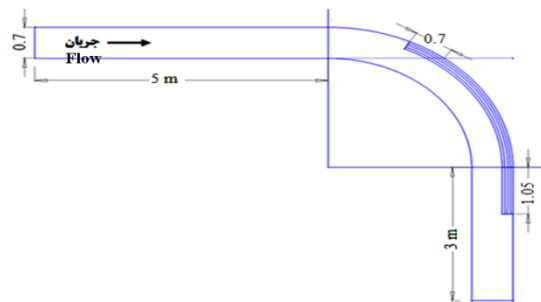
به منظور بررسی چگونگی تغییرات ابعاد آبستتگی، در هر آزمایش آبشکنی که بیشترین میزان آبستتگی در اطراف آن شکل گرفته بود، به عنوان آبشکن حساس و بحرانی در نظر گرفته شد. جدول ۱ محل قرارگیری آبشکن بحرانی را در هر آزمایش نشان می‌دهد. علت این پدیده این است که در مقطع انتهایی قوس عمق آب که بر اثر نیروی گریز از مرکز در قوس خارجی افزایش یافته، می‌خواهد به حالت مسیر مستقیم برگردد، لذا کاهش یافته و سبب منفی شدن گرادیان طولی فشار می‌گردد، بنابراین سرعت در نزدیکی دیواره خارجی افزایش یافته و پروفیل سرعت، حالت تندتری به خود می‌گیرد. در نتیجه، دو عامل جریان ثانویه و گرادیان طولی فشار در این حالت به عنوان عوامل همسو عمل کرده و باعث افزایش بیشتر سرعت در ناحیه نزدیک دیواره خارجی می‌شوند بنابراین در این ناحیه تنش برشی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده پتانسیل بالای آبستتگی و تخریب دیواره‌ها در دیواره خارجی و همچنین قسمت مستقیم پایین دست است این موضوع نتایج تحقیقات فضلی و همکاران (۱) و همچنین شاکر و کاشفی پور (۶) را تأیید می‌نماید. بعد از مشخص شدن آبشکن بحرانی ابعاد چاله آبستتگی در اطراف آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۷ نمای شماتیک از ابعاد چاله آبستتگی نشان داده شده است. در این شکل l بیان‌کننده کشیدگی چاله آبستتگی و w عرض چاله آبستتگی را نشان می‌دهد.

شکل (۸) اثر نوع آبشکن را بر تغییرات حداکثر عمق آبستتگی نسبی نشان می‌دهد. محور افقی نمودار عدد فرود جریان و محور عمودی نسبت بی‌بعد حداکثر عمق آبستتگی به عمق جریان می‌باشد. با توجه به شکل ۸ مشخص است که با افزایش عدد فرود میزان حداکثر عمق آبستتگی در هر پنج نوع سازه افزایش می‌یابد. 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 آبستتگی نیز افزایش می‌یابد. همچنین ملاحظه می‌گردد که حداکثر عمق آبستتگی در آبشکن‌های نفوذناپذیر به مقدار قابل توجهی بیشتر از آبشکن‌های نفوذپذیر و باندال لایک می‌باشد دلیل این افزایش را می‌توان این گونه توجیه کرد که در آبشکن‌های نفوذناپذیر، جریان پس از برخورد به دیواره آبشکن و تبدیل انرژی سرعتی به فشاری به سمت پایین (بستر) حرکت کرده و پس از برخورد به بستر و ایجاد گردابه‌های نعل اسبی و برخاستگی و در نتیجه ایجاد گردابه‌های حلزونی باعث شسته شدن رسوبات در این ناحیه می‌شود. با افزایش درصد نفوذپذیری در آبشکن‌های نفوذپذیر و باندال لایک مقدار حداکثر عمق آبستتگی نسبی کاهش یافته است. علت این امر این است که بخشی از جریان از میدان تأثیر آبشکن عبور کرده و باعث کاهش

Leica Disto A5 برداشت می‌گردید. در آزمایش‌ها ۴ دبی با مقادیر ۲۵، ۲۷، ۳۰، ۳۳ لیتر بر ثانیه که به ترتیب متناظر با عددهای فرود ۰/۲۲، ۰/۲۴، ۰/۲۶ و ۰/۲۹ می‌باشند، اعمال گردید.

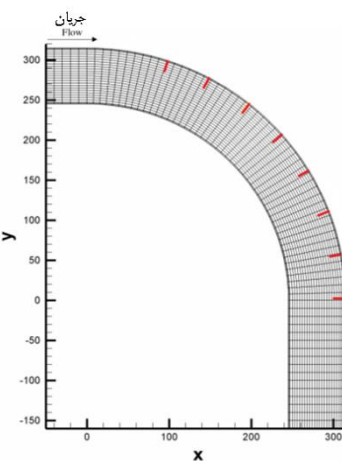
نتایج و بحث

استاندارد معرفی شده توسط *USACE*¹ (۱۱) که جهت محافظت از سواحل در مماندرها ارائه شده، می‌تواند گزینه مناسبی جهت آرایش آبشکن‌ها در قوس تلقی شود. بر همین اساس در تحقیق حاضر محدوده فرسایش‌پذیر در قوس ۹۰ درجه بصورت شکل ۵ می‌باشد و با توجه به این که نسبت (S/L) برابر با ۴ تعیین شده در نتیجه تعداد آبشکن‌های به کار رفته در هر آزمایش برابر با ۸ عدد می‌باشد که موقعیت قرارگیری آبشکن‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۵ - محدوده فرسایش‌پذیر در قوس ۹۰ درجه (ابعاد بر حسب متر می‌باشند)

Figure 5- Extent of protection required at a 90 degree bend (Dimensions in meters)



شکل ۶ - موقعیت قرارگیری آبشکن‌ها در قوس ۹۰ درجه (ابعاد بر حسب سانتی‌متر می‌باشند)

Figures 6- Positions of spur dikes at a 90 degree bend (Dimensions in centimeters)

بلندال لایک به ترتیب نسبت به آبشکن نفوذپذیر در اعداد فرود مختلف به طور میانگین حداقل ۶۲ درصد و ۵۵ درصد در نفوذپذیری ۳۳ درصد و حداکثر ۸۷ درصد و ۷۶ درصد در نفوذپذیری ۶۴ درصد می‌باشد.

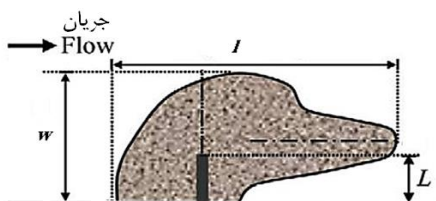
قدرت گردابه‌ها می‌گردد. میزان حداکثر عمق آبستگی نسبی در آبشکن باندال لایک و نفوذپذیر به هم نزدیک می‌باشد، که نشان دهنده تأثیر قسمت نفوذپذیر آبشکن باندال لایک در کاهش میزان حداکثر آبستگی است.

مقدار کاهش عمق آبستگی نسبی در آبشکن‌های نفوذپذیر و

جدول ۱- محل قرارگیری آبشکن بحرانی

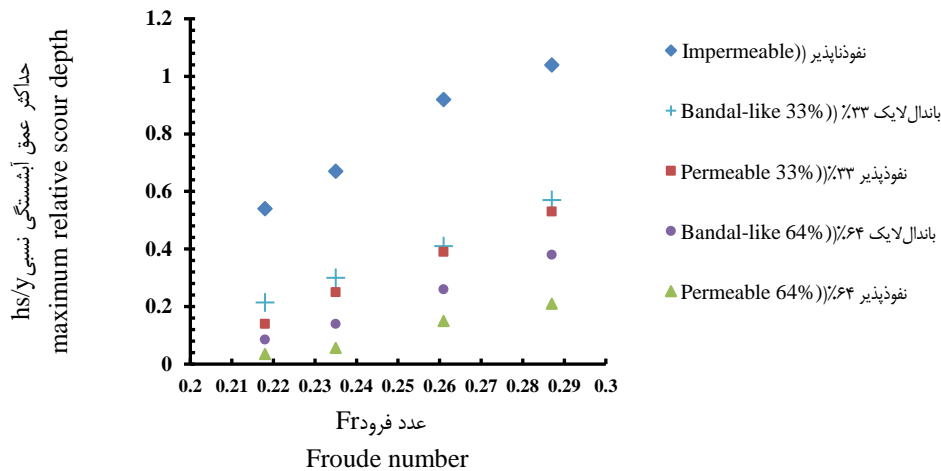
Table 1- Location of critical spur dike

نوع آبشکن Spur type	درصد نفوذپذیری Permeability percentage	عدد فرود Froude number	شماره آبشکن بحرانی Number of critical spur	محل قرارگیری آبشکن Location of spur dike
آبشکن نفوذپذیر permeable spur dike	33	0.22	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	33	0.24	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	33	0.26	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	33	0.29	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	64	0.22	آبشکن هفتم Seventh spur dike	زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه قوس 80 to 90 degrees of the bend
	64	0.24	آبشکن هفتم Seventh spur dike	زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه قوس 80 to 90 degrees of the bend
	64	0.26	آبشکن هفتم Seventh spur dike	زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه قوس 80 to 90 degrees of the bend
	64	0.29	آبشکن هفتم Seventh spur dike	زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه قوس 80 to 90 degrees of the bend
آبشکن نفوذناپذیر Impermeable spur dike	0	0.22	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	0	0.24	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	0	0.26	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	0	0.29	آبشکن هفتم Seventh spur dike	زاویه ۸۰ تا ۹۰ درجه قوس 80 to 90 degrees of the bend
آبشکن باندال لایک Bandal-like	33	0.22	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	33	0.24	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	33	0.26	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	33	0.29	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	64	0.22	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	64	0.24	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	64	0.26	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach
	64	0.29	آبشکن هشتم Eighth spur dike	مسیر مستقیم خروجی outlet straight reach



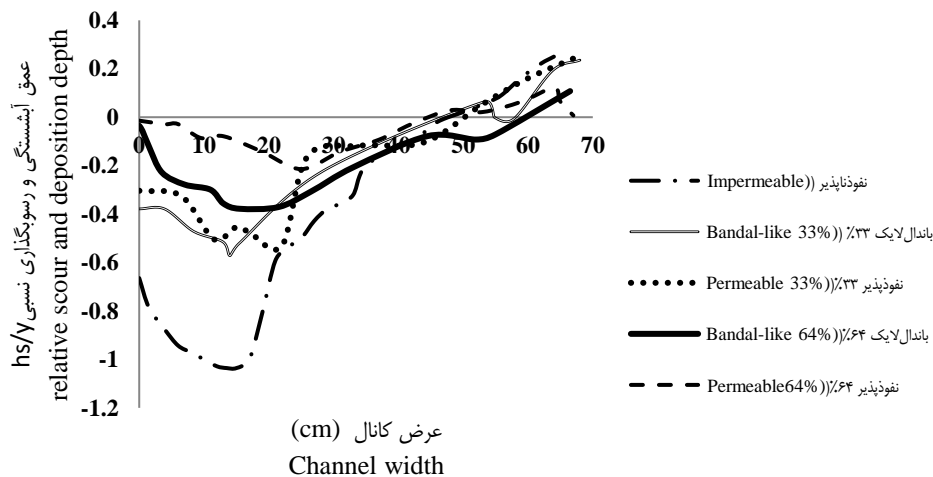
شکل ۷- نمای شماتیک گسترش چاله آبستگی اطراف آبشکن

Figure 7- Schematic view of extension of scour hole around spur dike



شکل ۸- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی نسبت به عدد فرود برای انواع آبشکن

Figure 8- Maximum relative scour depth variations as a function of Froude number for different types of spur dike



شکل ۹- تغییرات عمق آبشستگی و رسوبگذاری با میزان نفوذپذیری در $Fr=0.29$ در عرض کانال

Figure 9- Scour and deposition depth variations as a function of permeability percentage in channel width in $Fr=0.29$

یافته و در آبشکن‌های بسته به بیشترین مقدار خود رسیده است. بر اساس نتایج کمی به دست آمده، حداکثر طول آبشستگی نسبی به طور میانگین، در آبشکن‌های نفوذپذیر با نفوذپذیری ۳۳ و ۶۴ درصد به ترتیب، ۳۳ و ۴۶ درصد نسبت به آبشکن‌های بسته کاهش یافته است. همچنین به طور میانگین آبشکن‌های باندا لایک با نفوذپذیری ۳۳ و ۶۴ درصد به ترتیب، ۹ و ۱۲ درصد افزایش را نسبت به آبشکن‌های نفوذپذیر نشان می‌دهد.

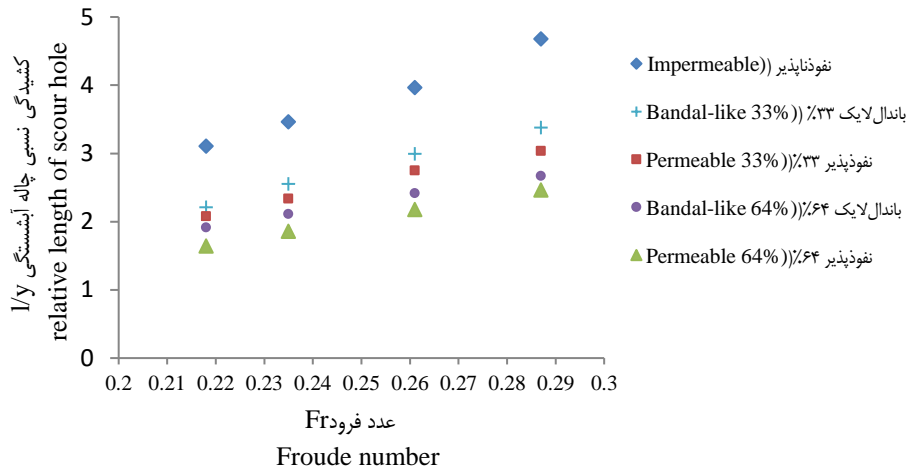
شکل ۱۱ اثر نفوذپذیری آبشکن‌ها را بر تغییرات حداکثر عرض آبشستگی نسبی، نشان می‌دهد. محور افقی نمودار، عدد فرود جریان و

شکل ۹ اثر نوع آبشکن بر تغییرات پروفیل عرضی راه، در مقطعی که حداکثر عمق آبشستگی اتفاق می‌افتد، برای عدد فرود ماکزیمم نشان می‌دهد. محور افقی، عرض فلوم و محور عمودی، عمق آبشستگی نسبی می‌باشند.

در شکل ۱۰ تغییرات حداکثر طول آبشستگی نسبی، تحت تأثیر انواع آبشکن‌ها نشان داده شده است. محور افقی نمودار، عدد فرود جریان و محور عمودی، نسبت حداکثر کشیدگی چاله آبشستگی به عمق جریان می‌باشد. همان‌طور که از نمودار مشخص است کشیدگی نسبی چاله آبشستگی نیز بر اثر کاهش نفوذپذیری آبشکن‌ها افزایش

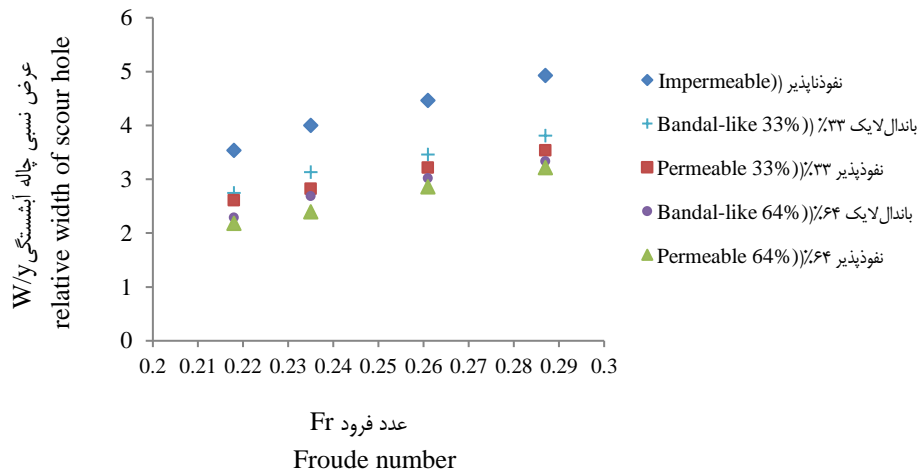
عرض چاله آبستتگی در آبشکن باندال لایک و نفوذپذیر به یکدیگر نزدیک می‌باشد. بنابراین عرض چاله آبستتگی در سازه باندال لایک عمدتاً تحت تأثیر قسمت نفوذپذیر سازه می‌باشد.

محور عمودی، نسبت عرض چاله آبستتگی به عمق جریان می‌باشد. بر اساس نمودار ارائه شده، حداکثر عرض آبستتگی با کاهش میزان نفوذپذیری آبشکن‌ها، یک روند افزایشی دارد و بیشترین عرض چاله آبستتگی در آبشکن‌های نفوذناپذیر به چشم می‌خورد. همچنین میزان



شکل ۱۰- تغییرات کشیدگی نسبی چاله آبستتگی نسبت به عدد فرود برای انواع آبشکن‌ها

Figure 10- Relative scour hole length variations as a function of Froude number for different types of spur dike



شکل ۱۱- تغییرات عرض نسبی چاله آبستتگی نسبت به عدد فرود برای انواع آبشکن‌ها

Figure 11- Relative scour hole width variations as a function of Froude number for different types of spur dike

اندازه‌های دیواره رودخانه را توسط کاهش سرعت جریان و رسوبگذاری اندک بین آبشکن‌ها محافظت می‌نماید، اما آبستتگی اندکی در دماغه اتفاق می‌افتد. در اصل بخش فوقانی بلندال لایک به عنوان آبشکن بسته جریان را از دیواره دور می‌کند و بخش زیرین آن به عنوان آبشکن باز ضمن کاهش سرعت جریان از آبستتگی زیاد دماغه جلوگیری می‌کند. به عبارتی هر دو وظیفه را به خوبی انجام می‌دهد،

در جدول ۲ درصد کاهش ابعاد چاله آبستتگی در آبشکن‌های نفوذپذیر و باندال لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر آمده است. نکته اساسی مورد بحث این است که آبشکن باندال لایک کارایی لازم را در حفاظت دیواره‌های رودخانه در مقایسه با آبشکن بسته یا نفوذناپذیر ندارد، اما در مقابل آبستتگی دماغه آبشکن به مراتب کمتر می‌باشد. آبشکن باز یا نفوذپذیر سرعت جریان را کاهش داده و تا

و همکاران (۸) برای شرایط کانال مستقیم با نتایج این مطالعه (قوس ملایم) برای عدد فرود یکسان (۰/۲۴) نشان می دهد که عملکرد باندا لایک در قوس به مقدار کم بهتر از مسیر مستقیم است.

ضمن اینکه وجود دفلکتور در مرز بین دو بخش بالایی و پایینی باعث می شود خطوط جریان به آرامی از بخش باز سازه عبور نمایند. مقایسه حداکثر عمق آبشستگی نسبی بین نتایج مطالعه شجاعیان

جدول ۲- مقادیر درصد کاهش پارامترهای چاله آبشستگی در آبشکن نفوذپذیر و باندا لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر در عدد فرود ماکزیمم (۰/۲۹)

Table 2- Amounts of decreasing percentage of scour hole parameter for permeable and bandal-like spur dike in comparison with impermeable spur dike at maximum Froude number (0.29)

نوع آبشکن Spur dike Type	h_s/y	w/y	l/y
آبشکن نفوذپذیر ۳۳٪ Impermeable spur dike 33%	56	28	33
آبشکن نفوذپذیر ۶۴٪ Impermeable spur dike 64%	83	35	46
باندا لایک نفوذپذیری ۳۳٪ Bandal-like 33%	53	23	27
باندا لایک نفوذپذیری ۶۴٪ Bandal-like 64%	69	32	40

۶۴ درصد می باشد. میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی در آبشکن های باندا لایک و نفوذپذیر به هم نزدیک می باشند. این مسئله نشان دهنده تأثیر قسمت نفوذپذیر آبشکن باندا لایک در کاهش میزان حداکثر آبشستگی است. عرض نسبی چاله آبشستگی در سازه باندا لایک عمدتاً تحت تأثیر قسمت نفوذپذیر سازه می باشد. به نظر می رسد سازه آبشکن باندا لایک با توجه به اینکه هم خصوصیات آبشکن بسته را در دور کردن جریان از دیواره دارد و هم در کاهش سرعت و انرژی گردابه ها مانند آبشکن باز عمل می کند، بتواند به عنوان جایگزین مناسبی برای آن دو در حفاظت دیواره خارجی در قوس رودخانه ها استفاده شود.

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق آزمایش هایی جهت تعیین ابعاد چاله آبشستگی در پیرامون آبشکن های نفوذناپذیر، نفوذپذیر و باندا لایک با هدف بررسی تأثیر نوع آبشکن و نفوذپذیری آن و همچنین عدد فرود بر روی طول، عرض و عمق آبشستگی اطراف آبشکن ها در قوس ملایم انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد:

کمترین میزان آبشستگی در آبشکن نفوذپذیر با درصد نفوذپذیری ۶۴ درصد و بیشترین میزان آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر اتفاق افتاد. ابعاد چاله فرسایشی اطراف آبشکن نفوذناپذیر به میزان قابل توجهی بیشتر از آبشکن نفوذپذیر و باندا لایک با نفوذپذیری ۳۳ و

منابع

- 1- Fazli M., Ghodsian M., Salehi Neyshabouri S.A.A. 2009. Bed Topography Variations in 90 Degree Bend Due to Different Hydraulic Conditions. Modares Civil Engineering Journal, 35: 123-144. (in Persian)
- 2- Rahman M.M., Nakagawa H., Ishigaki T., and Khaleduzzaman A.T.M. 2003. Channel Stabilization Using Bandalling. Annual of Diaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 46(B): 613-618
- 3- Rahman M.M., Nakagawa H., Khaleduzzaman A.T.M., and Ishigaki T. 2003. Flow and scour-deposition around bandals. p.177-180. In Proceedings of 5th International summer Symposium, JSCE, Tokyo, Japan.
- 4- Rahman M.M., Nakagawa H., Khaleduzzaman A.T.M., Ishigaki T., and Muto Y. 2004. On the formation of Stable River Course. Annual of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 47(B): 601-616.
- 5- Rahman M.M., Nakagawa H., Khaleduzzaman A.T.M., and Ishigaki T. 2005. Formation of navigational channel

- using bandal-like structures. Annual Journal of Hydraulic Engineering, Japan Society of Civil Engineers, 49: 997-1002.
- 6- Shaker E., Kashefipour S.M. 2014. Experimental Investigation on Velocity and Shear Stress Distributions in a 90-Degree Bend With and Without Series of Groynes. Water and Soil Science, Tabriz University, 24(3): 55-68. (in Persian with English abstract)
 - 7- Sharmin R., Rahman M.M., Matin A., Haque E., Hossain I., and Razzak A. 2007. Effectiveness of Bandalling and dredging for the maintenance of navigation channel in the Jamuna River. p. 125-133. In Proceeding of the International Conference on Water & Flood Management, 12-14 Mar, Dhaka, Bangladesh.
 - 8- Shojaeian Z., Kashefipour S.M., Mosavi Jahromi S.H. 2015. Experimental Study of the Effect of Permeability Percentage of Bandal Like Spur Dike on Maximum Depth of Scour Hole. Water and Soil Science, Tabriz University, 25(3): 105-116. (in Persian with English abstract)
 - 9- Teraguchi H., Nakagawa H., Kawaike K., Bans Y, and Zhang H. 2011. Effects of hydraulic structures on river morphological processes. International Journal of Sediment Research. 26(3): 283-303.
 - 10- Teraguchi H., Nakagawa H., Kawaike K., Baba Y. and Zhang H. 2011. Alternative method for river training works: Bandal-like structures. Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 55: 151-156.
 - 11- United States Army Corps of Engineers, (1981), Roughans Point Revere, Massachusetts Coastal Flood Protection Study. United States Army Corps of Engineers Water Resources Investigation.
 - 12- Zhang H., Nakagawa H., Baba Y., Kawaike K., and Teraguchi H. 2010. Three-dimensional flow around Bandal-like structures. Annual Journal of Hydraulic Engineering, Japan Society of Civil Engineers, 54: 175-180.
 - 13- Zhang H., Nakagawa H., Baba Y., Kawaike K., and Rahman M.M. 2011. Hydraulic and Morphological Consequences of Bank protection measures along the Jamuna river, Bangladesh. Annual of Diaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 54(B): 477-496

Experimental Investigation on the Scour Hole Geometric Dimensions in Different Spur Dikes in 90 Degree Bend for Non-Submerged Conditions

S. Rahimi^{1*} - S. M. Kashefipour² - M. Shafai Bajestan³ - A. Fathi⁴

Received: 10-02-2016

Accepted: 14-08-2016

Introduction: Outer bank region is always exposed to destruction and scour due to secondary flow. Different methods are generally used to protect the outer bank. One of the most common and economical ways is spur dike. As an obstacle in the flow, spur dikes protect the outer bank through decreasing the velocity and forming vortices between them and as a result sedimentation along that area. However, the spur dike increases the shear stress and local scour around the spur, especially its nose. This study investigates the scour hole dimensions around three types of spur dike including permeable, impermeable and bandal-like spur dike which is done as a combination of permeable and impermeable spur dike. Few studies were focused on field applications and laboratory experiments to investigate the practical applicability of the bandal-like structure in natural rivers. Rahman et al. (4) Studied the prediction of main channel degradation and local scour around hydraulic structures (impermeable and bandal-like spur dikes) under non-submerged condition. Teraguchi et al. (9) Investigated the influenced of submerged condition on flow characteristics and sediment transport process caused by bandal-like structures with different spacing and alignment under live-bed scour condition through laboratory experiments.

Materials and Methods: Experiments were carried out in the Physical Modeling Laboratory of Faculty of Water Science Engineering of Shahid Chamran University, Ahwaz. The main channel consisted of a 5m long upstream and a 3m long downstream straight reaches. A 90 degree bend was located between the two straight reach. The channel was of rectangular cross section, having a width of 0.7m and depth of 0.6m, with mild bends (ratio of radius to a width equal to 4) and it was filled with almost uniform sediment with a median particle size of $D_{50}=1.5$ mm. The discharges were measured using an ultrasonic flow meter, which was installed on the pipe inlet of the flume. The water elevation was regulated using the sliding gate installed at the end of the flume. Plexiglas with a thickness of 0.01m was used for impermeable part of spurs and the permeable part prepared by using steel roll piles with 4mm diameter. The most erodible area along the bend was determined and after installing the spurs, the bed surface was leveled by a plate attached to the carriage mounted on the channel. Then the inlet valve was opened slowly and the gate at the end of the flume was first closed. The discharge increased to a predetermined value so that no scour occurs at the straight reaches of the flume. Each experimental case was carried out for 3 hours under clear-water scour condition. At the end of experiments, water was carefully drained out and measurement of bed topography was done using laser bed profiles.

Results and Discussion: The most erodible area along the bend was determined using the procedure described by the U.S. Army Corps of Engineers and in each experimental case specified the critical spur in terms of the maximum erosion around it that happened at the exit of the bend (sections of 80 to 90 degree of bend) and downstream straight reach in all conditions. The centrifugal force will occur has increased the water depth at the exit of the bend. This increase in flow depth is associated with longitudinal negative pressure gradient due to this maximum velocity occurs at the exit of the bend and by this high velocity flow the shear stress increases. The characteristics of the scour hole have been shown to be affected by Froude number and this parameter has a direct relation to maximum relative scour depth and dimensions of the scour hole. The results showed that by increasing the permeability percentage, the amount of maximum relative scour hole depth, length and width decreased. The amount of relative scour depth in permeable and bandal-like spur dike decreased (62% and 55%), and (87% and 76%) for permeability of 33% and 64%, respectively in comparison with impermeable spur dike.

Conclusions: The effect of hydraulic structures, with emphasis in the bandal-like structures, on the scour hole geometric dimensions were investigated in this study. Five types of structures (impermeable, permeable and bandal-like with a permeability of 33% and 64%) were tested experimentally. It was found that:

The increase of permeability, reduced scour rate significantly, such that, the maximum amount of depth, width and length of scour-hole was related to impermeable spur dike (with permeability of 0.0%) and the minimum

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student, Professors, and Assistant Professor of Hydraulic Structure Department, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.

(* - Corresponding Author Email: aes_rahimi@yahoo.com)

amount belonged to the permeable spur dike with 64% permeability. The performance of bandal-like structures considering the erosion process around the structures show close results compared with permeable spur dikes.

Keywords: Bandale Like, Channel bend, River bank protection