علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۰، شماره‌ی٤، زمستان ۹٦، ص. ۱۵٤-۱٤۱

بررسی تجربی تأثیر استغراق آبشکن باندال‌لایک بر توپوگرافی بستردر قوس ۹۰ درجه

محسن جلیلی[۱]، مرتضی بختیاری[۲*]، سید محمود کاشفی‌پور[۳] و نیما شهنی کرم زاده[۴]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.
۲*-نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی سازه‌های دریایی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.mortezabakhtiari62@gmail.com
۳- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴- استادیار گروه مهندسی سازه‌های دریایی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۳

چکیده

یکی از روش‌های حفاظت سواحل استفاده از آبشکن‌ها می‌باشد. باندال‌لایک نوعی سازه‌ی آبشکن است که به منظور بهبود عمق جریان برای کشتی‌رانی در رودخانه‌های آبرفتی احداث می‌گردد. این سازه نوع جدیدی از آبشکن است که به صورت ترکیبی از آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر ساخته می‌شود. در این تحقیق هدف، بررسی اثر استغراق آبشکن باندال‌لایک بر توپوگرافی بستر می‌باشد. بدین منظور آبشکن باندال‌لایک با سه نسبت استغراق (۱/۱٦، ۱/٦٥ و ۲/۱۵) و در شرایط هیدرولیکی متفاوت (اعداد فرود ۰/۲۲، ۰/۲٤، ۰/۲٦، ۰/۲۹) در فلومی با قوس ملایم ۹۰ درجه و در شرایط مستغرق مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش نسبت استغراق، آبشستگی اطراف سازه‌ی باندال‌لایک نیز افزایش می‌یابد همچنین نتایج نشان می‌دهد با افزایش اعداد فرود جریان و فرود دنسیمتریک حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. بررسی حداکثر آبشستگی نشان می‌دهد موقعیت آبشستگی با الگوی تنش برشی در قوس‌های ملایم مطابقت دارد.

کلید واژه‌ها: توپوگرافی بستر، قوس ۹۰ درجه ،آبشکن باندل‌لایک، استغراق.

مقدمه

شرایط جریان در قوس رودخانه به گونه‌ای می‌باشد که نیروهای هیدرودینامیکی جریان‌های ثانوی را به وجود می‌آورند که خطوط جریان سطحی را به سمت ساحل بیرونی و خطوط جریان نزدیک به بستر را به سمت ساحل داخلی منحرف می‌نمایند. در مقطع جریان در امتداد قائم، خطوط جریان مجاور ساحل بیرونی به طرف پایین و خطوط جریان پشته متمرکز داخلی به طرف بالا هستند. در نتیجه پایداری ذرات در نزدیکی ساحل خارجی به هم خورده و بستر رودخانه گود می‌شود، از طرف دیگر در مجاورت پشته متمرکز داخلی به پایداری ذره اضافه می‌شود و تراز بستر افزایش پیدا می‌کند. آبشستگی در پنجه ساحل خارجی، خط القعر را به سمت ساحل بیرونی قوس جا به جا می‌کند و شیب ساحل را افزایش می‌دهد که در نهایت به شکست ساحل منتهی می‌شود. به منظور کنترل و کاهش فرسایش سواحل و جلوگیری از مهاجرت جانبی رودخانه‌ها از روش‌های حفاظت مستقیم و غیر مستقیم استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها، استفاده از آبشکن‌های رودخانه‌ای است. آبشکن‌ها پرکاربردترین سازه اصلاح کننده الگوی جریان هستند که به منظور کنترل و کاهش فرسایش سواحل رودخانه‌ها استفاده می‌شوند. اهداف اصلی از کاربرد آبشکن‌ها در ساماندهی رودخانه حفاظت دیواره‌های رودخانه در طرح اصلاح مسیر، حفاظت‌های خاص و موضعی سازه‌های جانبی، کشتیرانی و احیای سامانه زیستایی رودخانه می‌باشد. آبشکن‌ها انواع مختلف دارند و می‌توانند بصورت مستغرق و یا غیر مستغرق ساخته شوند. اکثر پژوهش‌های صورت گرفته بر آبشکن در رابطه با الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری مخصوصاً بیشینه عمق آبشستگی در اطراف آبشکن نفوذناپذیر غیر مستغرق می‌باشد که از آن جمله می‌توان به منابع با ارزشی از جمله فضلی و همکاران (۱۳۸۶)، عباس‌پور و همکاران (۱۳۸۹) و مسجدی و پیمانی فروشانی[۱] (۲۰۱۲) اشاره نمود. مطالعات اندکی در زمینه الگوی فرسایش و رسوبگذاری در اطراف آبشکن مستغرق انجام شده است از جمله، مشکورنیا و همکاران(۱۳۸۹)، آنها طی تحقیق تأثیر طول سازه‌ی آبشکن مستغرق را بر میزان آبشستگی ساحل خارجی در قوس ۹۰ درجه مورد بررسی قرار دادند. نتایج این آزمایشات نشان داد که با افزایش عدد فرود میزان آبشستگی نیز افزایش می‌یابد و بیشترین عمق آبشستگی نیز در حوالی راس قوس رخ می‌دهد. کوهنل و همکاران[۲](۱۹۹۹)، مطالعه‌ای روی الگوی آبشستگی اطراف آبشکن‌های بسته انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که نسبت تنگ شدگی و عمق جریان رابطه قطعی با حجم

1 - Masjedi and Peymani Foroushani
2- Kuhnel *et al.*

گودال آبشستگی اطراف آبشکن دارند.الوادی و همکاران[1] (۲۰۰۱)، به بررسی رفتار جریان در اطراف آبشکن مستغرق در یک بستر ثابت پرداختند. نتایج آزمایش‌ها آنها نشان داد که الگوی جریان در اطراف آبشکن کاملاً مستغرق و غیر مستغرق متفاوت می‌باشد. بدین‌ترتیب استفاده از آبشکن با ارتفاع‌های مختلف تأثیر بسزایی در رفتار جریان در کانال خواهد گذاشت. کشاورزی و همکاران[2] (۲۰۱۰)، به بررسی جریان در اطراف آبشکن مستغرق در یک کانال مرکب پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اندازه حرکت و انرژی جنبشی در دو جهت کاهش می‌یابد و خطوط جریان از دیواره‌ها به کانال اصلی انحراف می‌یابند. آذین‌فر و کلز[3] (۲۰۰۸)، در تحقیقی به پیش‌بینی پدیده برگشت آب در اثر انسداد با آبشکن مستغرق در کانال روباز پرداختند و در نهایت روابطی جهت پیش-بینی اثر برگشت آب به دلیل وجود آبشکن مستغرق ارائه دادند.

سازه‌ی باندال‌لایک ترکیبی از آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر است که در شبه قاره هند به منظور بهبود عمق جریان برای کشتی‌رانی در رودخانه‌های آبرفتی احداث می‌گردد. تا کنون مطالعه‌های محدودی در زمینه‌ی تاثیر این سازه بر الگوی جریان و توپوگرافی بستر انجام شده است از جمله مطالعات رحمان و همکاران[4](۲۰۰۴و ۲۰۰۶)، ژانگ و همکاران[5](۲۰۱۰)، تراگوچی و همکاران[6] (۲۰۱۱و۲۰۱۰) نتایج تحقیقات آنها نشان داد که سازه‌ی باندال‌لایک در کاهش آبشستگی اطراف سازه و رسوب‌گذاری رسوبات در پایین‌دست باندال‌ها در مقایسه با سازه‌های قدیمی (آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر) نتایج رضایت بخشی را نشان می‌دهد همچنین این سازه، سازه‌ای محلی است که مقرون به صرفه بوده و با محیط زیست سازگار می‌باشد. عمده‌ی مطالعاتی که تا کنون در زمینه‌ی سازه‌ی باندال‌لایک انجام شده است در مسیر مستقیم و در شرایط غیر مستغرق انجام شده است، بدین ترتیب هدف از این مطالعه بررسی اثر استغراق سازه‌ی باندال‌لایک در قوس ۹۰ درجه ملایم و در شرایط مستغرق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پدیده آبشستگی و رسوبگذاری اطراف صفحات متصل به ساحل از پنج عامل اصلی هندسه سیستم، مشخصات سازه‌ها، خصوصیات جریان، خصوصیات سیال و خصوصیات رسوب تاثیر می‌پذیرد:

- متغیرهای مربوط به هندسه سیستم
  - شیب طولی فلوم S_b
  - عرض فلوم B
  - شعاع قوس فلوم R
  - زاویه مرکزی قوس δ
- متغیرهای مربوط به سازه‌ها
  - طول موثر صفحات متصل به ساحل L_e
  - فاصله بین صفحات متصل به ساحل λ
  - زاویه موقعیت استقرار صفحات متصل به ساحل نسبت به ابتدای قوس θ
  - زاویه صفحات متصل به ساحل نسبت به ساحل بیرونی بالادست α
  - ارتفاع صفحات متصل به ساحل h
  - عرض تیغه افقی b_f
  - عمق کارگذاری تیغه افقی از سطح رسوبات بستر Z_f
- متغیرهای مربوط به جریان
  - سرعت متوسط جریان در بازه مستقیم بالادست قوس U
  - عمق جریان در بازه مستقیم بالادست قوس y
  - شتاب ثقل g
  - عدد فرود جریان (نشانگر رژیم جریان)Fr
- متغیرهای مربوط به سیال
  - جرم واحد حجم مایع ρ
  - ضریب لزجت دینامیکی μ
- متغیرهای مربوط به رسوبات
  - قطر متوسط ذرات رسوبی d_{50}
  - چگالی رسوبات G_s
  - انحراف معیار رسوبات σ
  - عمق آبشستگی d_s

$$d_s = f\begin{pmatrix} S_b, B, R, \delta, L_e, \lambda, \theta, \alpha, h, \\ b_f, Z_f, U, y, g, Fr, \rho, \mu, d_{50}, G_s, \sigma \end{pmatrix} \quad (۱)$$

با استفاده از تئوری π باکینگهام و در نظر گرفتن متغیرهای **y**، **U**، ρ به عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بی‌بعد زیر به دست می‌آیند:

$$d_S = f\begin{pmatrix} S_b, \delta, \theta, \alpha, G_s, \sigma, B/y, R/y, \\ Fr, \lambda/y, h/y, \\ b_f/y, Z_f/y, U/\sqrt{gy}, \rho Uy/\mu, d_{50}/y \end{pmatrix} \quad (۲)$$

با توجه به اینکه در این تحقیق آزمایش‌ها در یک فلوم قوسی ۹۰ درجه با $R/B = 4$ و شیب طولی صفر انجام گردید، اندازه

1- Elwady *et al.*
2 - Keshavarzi *et al.*
3- Azinfar and Kells
4- Rahman *et al.*
5- Zhang *et al.*
6-Teraguchi *et al.*

متوسط ذرات رسوبی (d_{50})، چگالی رسوبات (G_s) و انحراف معیار رسوبات (σ) مقادیر ثابتی بودند بنابراین از پارامترهای S_b، δ، R/B، d_{50}/y، G_s و σ به دلیل ثابت بودن صرفنظر می‌شود. با توجه به متلاطم بودن جریان در کلیه آزمایش‌ها از پارامتر بی‌بعد عدد رینولدز $\left(\rho Uy/\mu\right)$ صرفنظر می‌شود. همچنین با توجه به ثابت بودن همه مشخصات سازه به جز ارتفاع آن، ازهمه پارامترهای مربوط به سازه به جز ارتفاع صرف نظر میکنیم. عدد فرود ذره از دیگر پارامترهای بدون بعد مهم بوده که توسط تعدادی از محققین در معادلات مربوط به آبشستگی مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق بازه تغییرات عدد فرود ذره که بر اساس اندازه ذرات رسوب بستر محاسبه شده است، بین۱۴/. تا۱۹/. متغیر بوده است.

$$Fr_d = \frac{U}{\sqrt{(G_s-1)gd_{50}}} \qquad (۳)$$

با ارائه مطالب فوق با توجه به هدف تحقیق حاضر پارامترهای موثر بر عمق آبشستگی نسبی به صورت رابطه (۴) خلاصه می شود که در بخش نتایج بر اساس رابطه زیر اقدام به تهیه نتایج صورت گرفته است.

$$d_S/y = f\left(h/y, Fr, Fr_d\right) \qquad (۴)$$

در رابطه فوق :

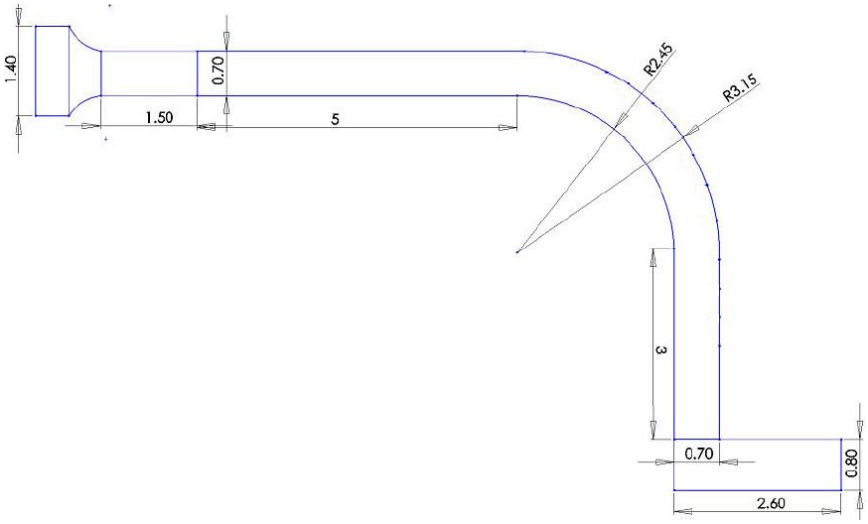
Fr :عدد فرود جریان در مسیر مستقیم بالادست قوس

h/y :معرف استغراق سازه

Fr_d : عدد فرود دنسیمتریک

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز در فلوم شیشه‌ای قوسی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه و با عرض ۷۰ سانتیمتر و نسبت شعاع قوس به عرض آن R/B برابر ۴ انجام شد. طول کانال مستقیم در بالادست قوس ۵ متر و در پایین‌دست قوس ۳ متر است. به منظور تنظیم عمق جریان از دریچه‌ی کشویی که در انتهای فلوم قرار دارد استفاده شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری دبی جریان، دبی‌سنج آلتراسونیک مورد استفاده قرار گرفت. نمایی از فلوم استفاده شده در این تحقیق در شکل (۱) نشان داده شده است.

در این تحقیق تعداد نه سازه بصورت سری درون فلوم جایگذاری شد. رسوبات بستر از ماسه‌ی طبیعی با اندازه‌ی متوسط (d_{50}) ۱/۵ میلیمتر و ضریب انحراف استاندارد $\sigma = \sqrt{d_{84}/d_{16}}$ معادل ۱/۲۲ انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت ۲۲ سانتیمتر در کف فلوم گسترانیده شد. طول سازه‌ها ۱۴ سانتی‌متر (معادل ۲۰ درصد عرض فلوم) و فاصله‌ی آنها ۴ برابر طول موثر سازه انتخاب شد. در تمام آزمایش‌ها، اولین آبشکن نفوذناپذیر است و با زاویه ۱۳۵ درجه از بالادست جایگذاری شده و در واقع نقش آبشکن محافظ را ایفا می‌کند. زیرا در قوس رودخانه‌ها دماغه اولین آبشکن معمولا تحت آبشستگی شدید قرار می‌گیرد که در نهایت منجر به صدمه دیدن و یا تخریب آن می‌شود. سازه‌های باندال‌لایک با زاویه ۹۰ درجه در فلوم جایگذاری شدند. چگونگی جانمایی آبشکن محافظ و آبشکن‌های باندال‌لایک در فلوم قوسی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل۱- پلان فلوم آزمایشگاهی (واحد اعداد بر حسب متر)



شکل۲- جانمایی سازه‌ها در فلوم

جدول ۱- الگوی کلی آزمایش‌ها

ارتفاع سازه(h) (cm)	h/2 (cm)	نسبت استغراق (y/h)	درصد نفوذپذیری	عمق آب (y) (cm)	دبی (lit/s)	اعداد فرود
۶/۵	۳/۲۵	۲/۱۵	٪۵۰	۱۴	۳۳-۳۰-۲۷-۲۵	۰/۲۶-۰/۲۴-۰/۲۲- ۰/۲۹
۸/۵	۴/۲۵	۱/۶۵	٪۵۰			
۱۲	۶	۱/۱۶	٪۵۰			

سازه‌های باندال‌لایک متشکل از دو بخش نفوذپذیر و نفوذناپذیر می‌باشند که قسمت نفوذناپذیر از جنس پلگسی‌گلاس و قسمت نفوذپذیر از میله‌های آهنی به قطر ۴ میلیمتر ساخته شده است و میزان نفوذپذیری این قسمت ۵۰ درصد می‌باشد. برای بهبود عملکرد این سازه، مرز بین قسمت نفوذپذیر و نفوذناپذیر به صورت یک صفحه با زاویه ۳۰ درجه (زاویه دفلکتور) نسبت به محور عمودی قرار داده شده است. این صفحه از جنس چوب ساخته شده و سبب کاهش قدرت جریان رو به پایین و در نتیجه کاهش فرسایش موضعی در اطراف سازه می‌گردد. به منظور تامین ۳ عمق استغراق، سازه‌ها با ۳ ارتفاع متفاوت ۶/۵، ۸/۵ و ۱۲ سانتیمتر ساخته شدند. بدین ترتیب سازه‌ها با سه نسبت استغراق متفاوت (۲/۱۵، ۱/۶۵ و ۱/۱۶) و هر استغراق تحت ۴ عدد فرود متفاوت (۰/۲۲، ۰/۲۴، ۰/۲۶، ۰/۲۹) مورد آزمایش قرار گرفتند. در تمام آزمایش‌ها عمق آب ۱۴ سانتیمتر می‌باشد همچنین در تمام آزمایش‌ها شرایط آب زلال حاکم بوده است به منظور شناسایی شرایط آب زلال در تحقیق حاضر از نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت متوسط بحرانی $\left(\frac{U}{U_C}\right)$ استفاده شده است. که U سرعت متوسط جریان و U_c: سرعت متوسط بحرانی جریان در لحظه آستانه حرکت رسوبات بوده است. در تحقیق حاضر در کلیه شرایط این نسبت کمتر از ۰/۹ بوده است لذا شرایط آب زلال بر پژوهش حاکم بوده است.

زمان انجام هر آزمایش ۳ ساعت در نظر گرفته شده است ، که این زمان، زمان رسیدن به حالت تعادل می‌باشد. در این تحقیق در مجموع ۱۲ آزمایش انجام شد که مشخصات سازه‌ها والگوی کلی آزمایش‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

برای انجام هر آزمایش ابتدا آبشکن‌ها را در موقعیت مورد نظر خود قرار داده و سپس سطح بستر را کاملا صاف نموده و با استفاده از دستگاه متر لیزری توپوگرافی بستر برداشت شد تا پس از آزمایش بتوان مقادیر رسوب‌گذاری و فرسایش را به طور دقیق تعیین کرد. قبل از راه اندازی پمپ، دریچه انتهایی را بسته و آب به آرامی به داخل فلوم انتقال داده شد. در این آزمایش‌ها دبی به تدریج زیاد شد تا به دبی از پیش تعیین شده برسد. پس از رسیدن به دبی از پیش تعیین شده، دریچه انتهایی به تدریج بالا آورده شد تا عمق مورد نظر در فلوم تأمین گردد. سپس آزمایش تا زمان رسیدن به حالت تعادل ادامه یافت. پس از آن به آرامی آب داخل فلوم خارج شده به گونه‌ای که تغییری در توپوگرافی بستر بوجود نیاید. پس از تخلیه کامل آب فلوم با استفاده از دستگاه متر لیزری توپوگرافی بستر برداشت شد.

به منظور به دست آوردن حالت تعادل دو آزمایش با مدت ۲۴ساعت، انجام پذیرفت. در نتیجه این آزمایشات مشاهده شد که ۹۰ درصد جابه جایی رسوبات در ۱۸۰ دقیقه ی اول صورت پذیرفت، بدین منظور زمان انجام آزمایش‌ها همان ۱۸۰ دقیقه منظور شد.

نتایج و بحث

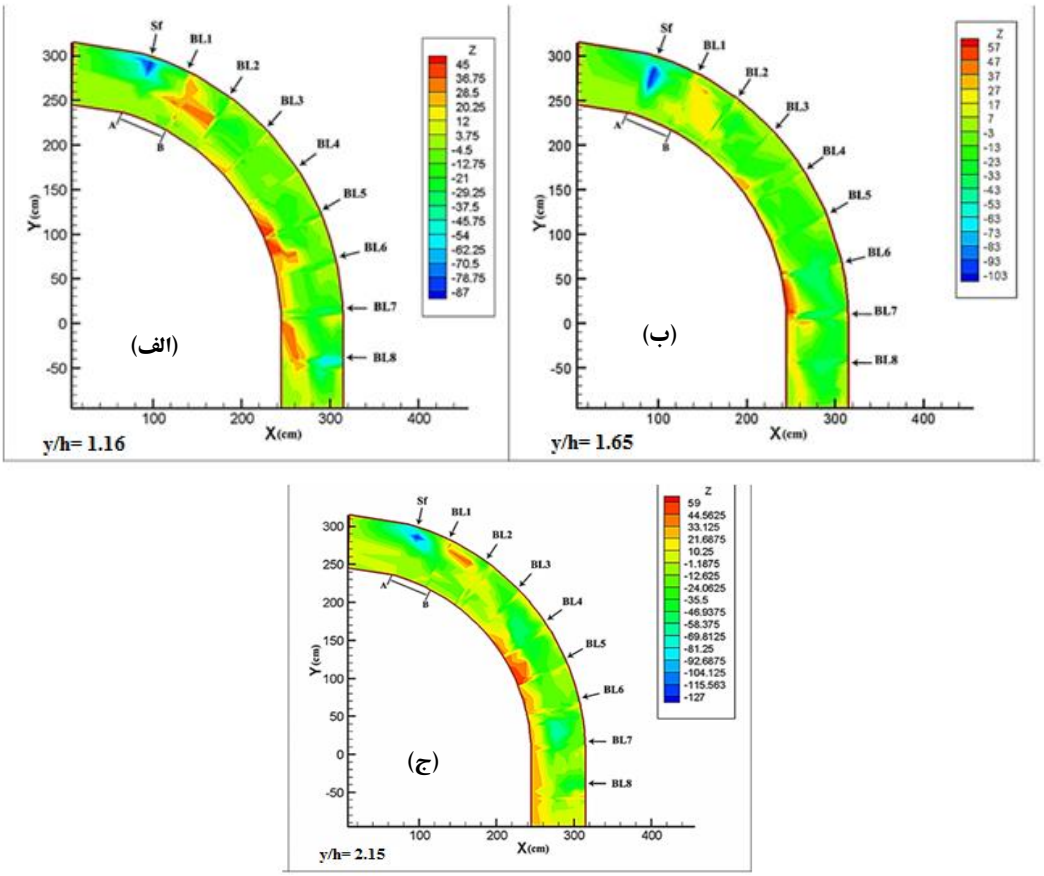
اندازه گیری های صورت گرفته برای این بخش از آزمایش‌ها شامل عمق آبشستگی (h_{cs})، زمان انجام آزمایش $t(hr)$، دبی جریان جهت انجام آزمایش $Q_c\left(\frac{lit}{s}\right)$، عمق جریان (h_{of}) در لحظه آستانه حرکت رسوبات در قسمت مستقیم کانال دبی جریان مورد آزمایش در لحظه شکست $Q_f\left(\frac{lit}{s}\right)$ برای هر آزمایش به صورت جداگانه می‌باشد. در جدول (۲) دامنه قرائت‌های صورت گرفته برای عوامل اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های این بخش ارائه شده است.

بررسی تأثیر استغراق سازه آبشکن بر الگوی فرسایش

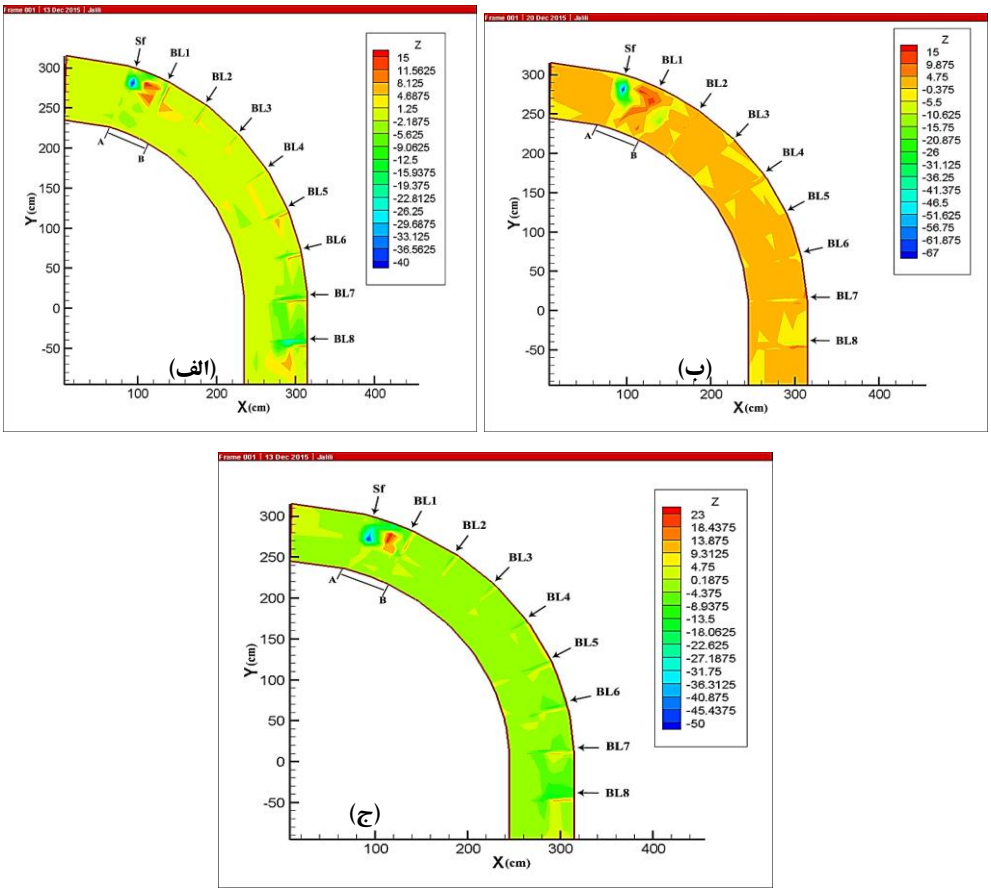
به منظور ترسیم توپوگرافی بستر برداشت شده، از نرم افزار Tec plot استفاده گردید. در شکل‌های (۴) و (۵) تغییرات توپوگرافی بستر تحت شرایط مستغرق و برای سه نسبت استغراق (۱/۱۶، ۱/۶۵، ۲/۱۵) به ترتیب تحت اعداد فرود ۰/۲۹ و ۰/۲۲ نشان داده شده است.

جدول(۲)- دامنه قرائت‌های صورت گرفته برای پارامترهای اندازه‌گیری شده

پارامترهای قرائت شده	حداقل	حداکثر
h_{cs} (mm)	-۶۵	۵۹
$t(hr)$	۳	۳
$Q_c\left(\frac{lit}{s}\right)$	۲۵	۳۳



شکل ٤- نیم‌رخ بستر برای آبشکن باندال لایک با نسبت استغراق الف) ۱/۱٦، ب) ۱/٦٥ و ج) ۲/۱۵ در عدد فرود ۰/۲۹



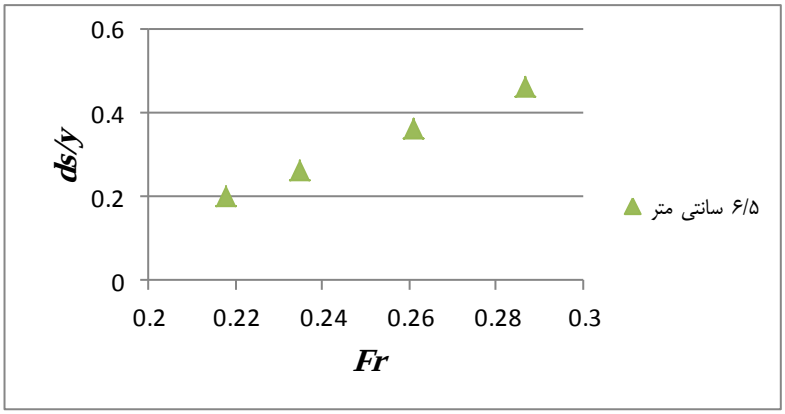
شکل ۵- پروفیل بستر برای آبشکن باندال لایک با نسبت استغراق ۱/۱۶، ۱/۶۵ و ۲/۱۵ در عدد فرود ۰/۲۲

همان‌گونه که در شکل‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود در تمامی آزمایش‌ها، آبشستگی‌ها و رسوب گذاری‌هایی در محدوده A-B به وقوع پیوسته است که دلیل آن وجود سازه نگهبان[1] می‌باشد. این سازه جهت محافظت از اولین سازه تعبیه شده است. جریان آب با برخورد به سازه نگهبان باعث آبشستگی چشم‌گیری در پای این سازه می‌شود و در نتیجه رسوبات بعد از جابه‌جایی در محدوده اولین سازه ته‌نشین می‌شوند. همچنین مشاهده می‌شود که بیشترین آبشستگی در پای سازه‌هایی که در قوس خارجی قرار دارند بوقوع پیوسته است. با نزدیک شدن جریان به انتهای قوس میزان عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. مشاهده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که سری صفحات باعث انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی فلوم شده‌اند که این مزیت در عمل باعث کنترل فرسایش در قوس بیرونی و همچنین افزایش قابلیت قایق‌رانی در قوس رودخانه‌ها می‌شود. انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی فلوم و در نتیجه افزایش تنش برشی بستر در میانه فلوم، باعث آبشستگی (کانال فرسایشی) در میانه و نزدیکی قوس داخلی فلوم شده است. در تمامی آزمایش‌هاحداکثر عمق آبشستگی مربوط به آبشستگی در دماغه‌ی آخرین آبشکن (آبشکن هشتم) می‌باشد که در پایین‌دست قوس قرار دارد. لذا بیشترین میزان آبشستگی در پایین‌دست قوس ایجاد می‌شود. زیرا در قوس خارجی پس از خروجی قوس عمق آب که بر اثر انحنای خم افزایش یافته است تمایل دارد که به حالت مسیر مستقیم برگردد، لذا کاهش می‌یابد و این کاهش عمق سبب منفی شدن گرادیان طولی و در نتیجه افزایش بیشتر سرعت جریان می‌شود (فضلی و همکاران ۱۳۸۸). همچنین در تمامی آزمایش‌ها رسوب‌گذاری در قوس داخلی از زاویه ۴۵ درجه که محدوده تقریبی تغییرموقعیت سرعت بیشینه از جداره داخلی به محدوده وسط قوس است آغاز شده وتا انتهای قوس ادامه دارد. بیشترین میزان رسوب‌گذاری در قوس داخلی در کلیه آزمایش‌ها در محدوده ۸۵ تا ۹۰ درجه می‌باشد. حضور این توده رسوبی که بر اثر حضور جریان ثانویه کم قدرت تشکیل می‌شود به تشکیل چاله آبشستگی در موقعیت خروجی قوس کمک می‌کند (فضلی و همکاران ۱۳۸۸).

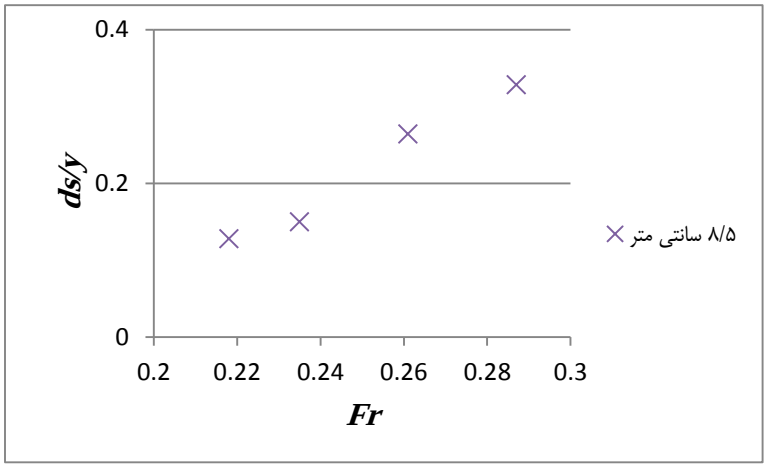
تاثیر استغراق سازه بر حداکثر عمق آبشستگی

به منظور بررسی تأثیر استغراق سازه آبشکن باندال لایک بر حداکثر عمق آبشستگی اقدام به ترسیم نمودار حداکثر عمق آبشستگی نسبی در برابر عدد فرود جریان گردید. حداکثر عمق آبشستگی برای سه نسبت استغراق مختلف (۲/۱۵، ۱/۶۵ ۱/۱۶) و چهار عدد فرود متفاوت (۰/۲۲، ۰/۲۴، ۰/۲۶، ۰/۲۹) در شکل (۵) نمایش داده شده است.

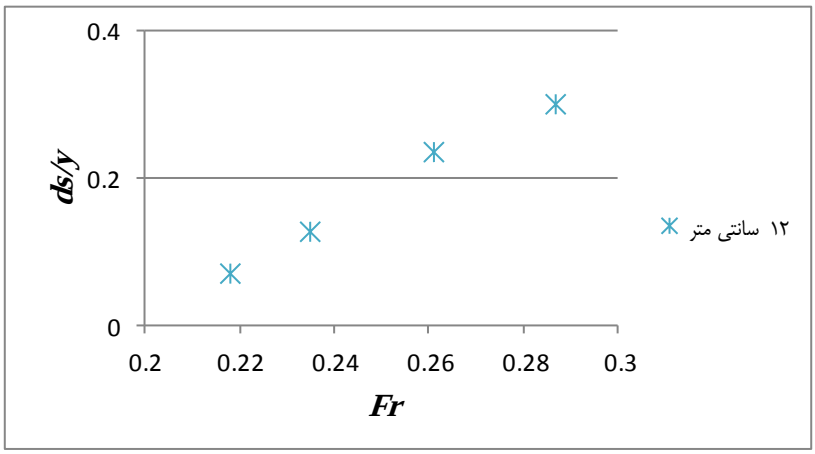
1- Sacrifice



(الف)



(ب)



(ج)

شکل٦- ارتباط میان عمق آبشستگی حداکثر و عدد فرود جریان الف: نسبت استغراق ۲/۱۵، ب: نسبت استغراق:۱/٦٥، ج: نسبت استغراق:۱/۱٦

همان‌گونه که در شکل(۶) مشاهده می‌شود برای تمامی اعداد فرود با افزایش استغراق سازه حداکثر عمق آبشستگی نسبی نیز افزایش می‌یابد. به عنوان مثال در عدد فرود ۰/۲۲ سازه با بیشترین نسبت استغراق (۲/۱۵) دارای بیشترین عمق آبشستگی نسبی نیز می‌باشد که به ترتیب ۳۶٪ و ۶۴/۵٪ بیشتر از سازه‌های با نسبت استغراق ۱/۶۵ و ۱/۱۶ می‌باشد. همچنین برای عدد فرود ۰/۲۹ سازه با بیشترین نسبت استغراق (۲/۱۵) دارای بیشترین عمق آبشستگی نسبی نیز می‌باشد که به ترتیب ۲۹/۳٪ و ۳۵/۴٪

بیشتر از سازه‌های با نسبت استغراق ۱/۶۵ و ۱/۱۶ می‌باشد. در تمامی آزمایش‌ها افزایش نسبت استغراق سبب افزایش تنش برشی بستر و فشار دینامیکی که تابعی از سرعت جریان است می‌باشد. در نتیجه با افزایش نسبت استغراق سرعت جریان نیز افزایش
می‌یابد. همچنین افزایش استغراق سازه باعث افزایش فشار آب در بالادست سازه نیز می‌شود. در شرایط مستغرق، جریان سرریز شونده سبب افزایش سطح یا ارتفاع آب شده و سبب ایجاد جریان پایین رونده و یا ورتکس عمودی در پایین‌دست سازه می‌شود. بدین ترتیب افزایش استغراق سازه منجر به افزایش عمق آبشستگی در پایین‌دست سازه می‌شود در نتیجه سازه نیازمند محافظت بیشتر می‌باشد. همچنین در شکل (۷) مشاهده می‌شود که برای تمام نسبت‌های استغراق با افزایش عدد فرود حداکثر عمق آبشستگی نسبی نیز افزایش می‌یابد. به عنوان مثال برای نسبت استغراق ۲/۱۵ با افزایش عدد فرود از ۰/۲۲ تا ۰/۲۹ حداکثر عمق آبشستگی نسبی ۵۷٪ افزایش می‌یابد. زیرا افزایش عدد فرود سبب افزایش سرعت جریان و تنش برشی شده که نتیجه آن افزایش عمق آبشستگی است.

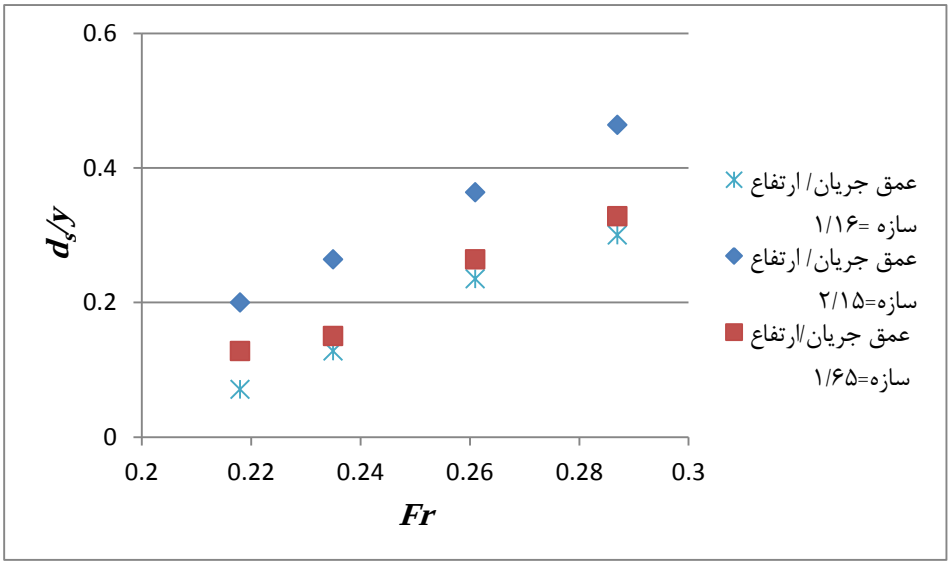
بررسی ارتباط میان عدد فرود دنسیمتریک و عمق آبشستگی نسبی

به منظور بررسی تأثیر استغراق سازه آبشکن باندال لایک بر حداکثر عمق آبشستگی اقدام به ترسیم نمودار حداکثر عمق آبشستگی نسبی در برابر عدد فرود دنسیمتریک گردید. برای سه نسبت استغراق مختلف (۲/۱۵، ۱/۶۵ ۱/۱۶) و چهار عدد فرود دنسیمتریک متفاوت در شکل (۸) نمایش داده شده است.

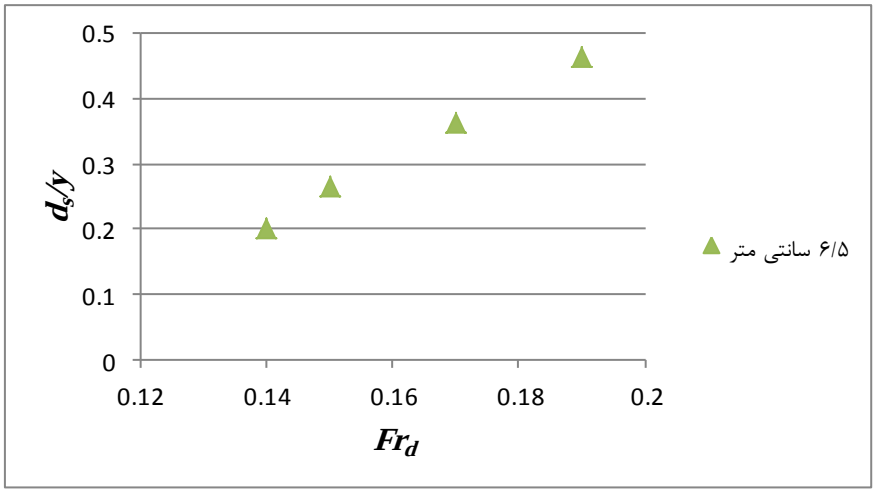
همانگونه که در شکل(۸) نشان داده شده است برای تمامی اعداد فرود با افزایش استغراق سازه حداکثر عمق آبشستگی نسبی نیز افزایش می‌یابد. به عنوان مثال در عدد فرود ۰/۱۹ سازه با بیشترین نسبت استغراق (۲/۱۵) دارای بیشترین عمق آبشستگی نسبی نیز می‌باشد که به ترتیب ۳۶٪ و ۶۴/۵٪ بیشتر از سازه‌های با سایر نسبت‌های استغراق می‌باشد. پس از انجام آزمایش‌ها و برداشت داده‌های منطبق با تحقیق اقدام به استخراج رابطه رگرسیونی بر اساس آنالیز ابعادی انجام شده صورت پذیرفت. که رابطه استخراج شده بر اساس ۷۰ درصد داده‌های آزمایشگاهی تهیه و بر اساس ۳۰ درصد باقیمانده صحت سنجی شده است.

$$\frac{d_S}{y} = \left(0.0052 \times e^{(14.582 \times Fr)}\right) \quad R^2 = 0.96 \qquad (۵)$$

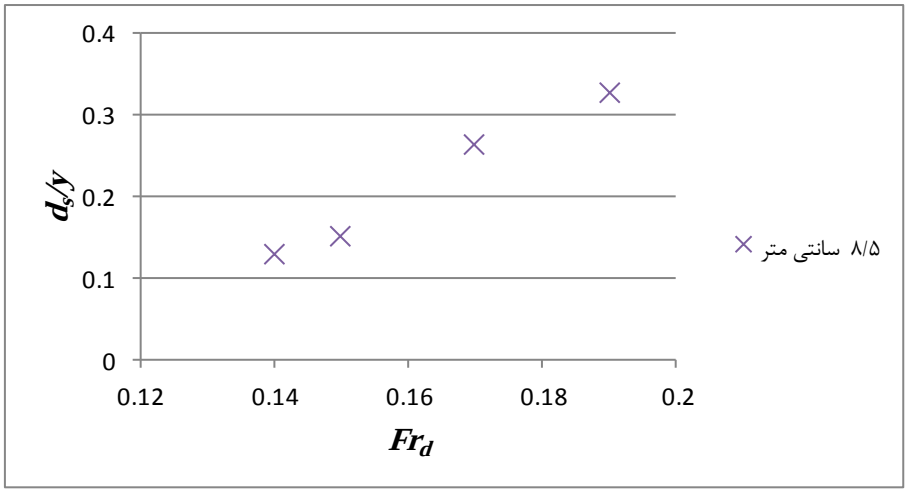
پس از استخراج معادله حاکم بر تحقیق، این معادله با سایر محققین مقایسه شده است. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد تحقیق حاضر با مطالعات سایر محقیق مطابقت نسبتاً خوبی دارد.



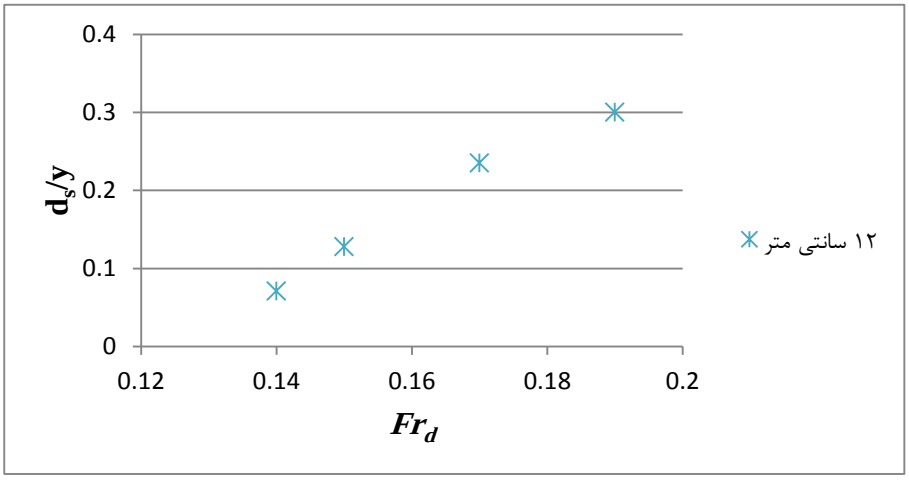
شکل ۷- نمودار تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی در برابر عدد فرود برای نسبت استغراق‌های متفاوت



(الف)

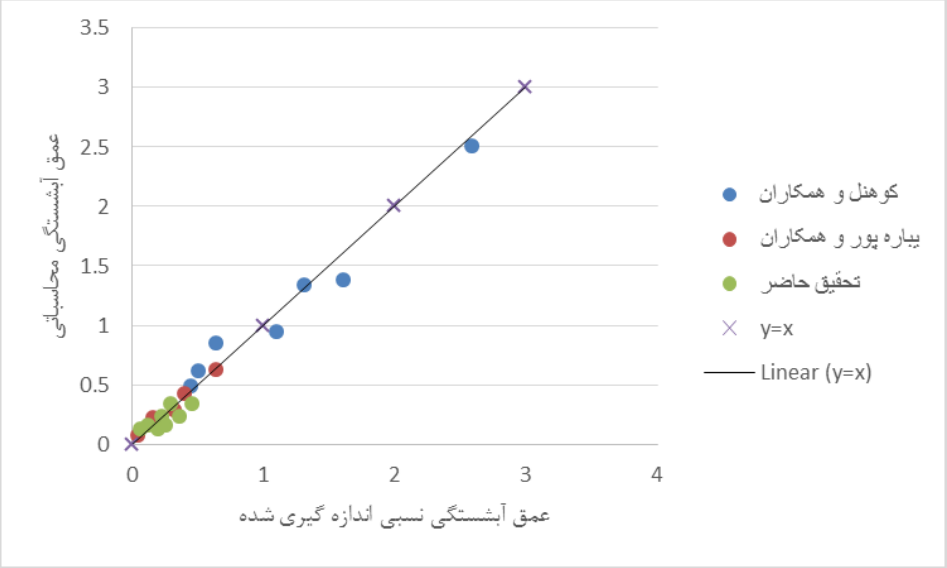


(ب)



(ج)

شکل۸- ارتباط میان عمق آبشستگی حداکثر و عدد فرود جریان الف: نسبت استغراق ۲/۱۵، ب: نسبت استغراق:۱/۶۵، ج: نسبت استغراق:۱/۱۶



شکل ۹- مقایسه نتایج تحقیق حاضر و تحقیقات گذشته

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر استغراق سازه باندال‌لایک بر تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه و در شرایط مستغرق برای سه نسبت استغراق (۱/۱۶، ۱/۶۵، ۲/۱۵) و تحت چهار عدد فرود مختلف (۰/۲۲، ۰/۲۴، ۰/۲۶، ۰/۲۹) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد:

- ✓استغراق سازه تاثیر چشم‌گیری بر توپوگرفی بستر و حداکثر عمق آبشستگی در اطراف سازه‌ی باندال‌لایک دارد و با افزایش استغراق سازه حداکثر عمق آبشستگی در اطراف سازه نیز افزایش می‌یابد.
- ✓با افزایش عدد فرود جریان و عدد فرود دنسیمتریک حداکثر عمق آبشستگی نسبی نیز افزایش می‌یابد.
- ✓با افزایش ارتفاع سازه(کاهش استغراق)، رسوب گذاری افزایش می یابد.

منابع

۱- عباس پور، م.، واقفی، م .قدسیان، م. ۱۳۸۹ .بررسی اثر نسبت استغراق آبشکن‌های T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه بر توپوگرافی بستر . نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- فضلی، م. قدسیان، م. صالحی نیشابوری، س، ع، ا.۱۳۸۶. بررسی آبشستگی در اطراف آبشکن بسته در قوس. ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهرکرد، شهریور.

۳- فضلی، م. قدسیان، م.، و صالحی نیشابوری، س، ع، ا. ۱۳۸۸.تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه در شرایط مختلف جریان. مجله فنی و مهندسی مدرس. ۳۵: ۱۴۴-۱۲۳.

۴- مشکورنیا، ه..جراح زاده، ف. رامش، س و شفاعی بجستان، م۱۳۸۹ .. بررسی تاثیر طول سازه ی آبشکن مستغرق بر میزان آبشستگی ساحل خارجی در قوس ۹۰ درجه. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

۵- بیاره‌پور،ا.، کاشفی پور،س.م. مقایسه توپوگرافی بستر برای سری آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر.مجله علوم و مهندسی آبیاری.دانشگاه شهید چمران اهواز.۳۷(۴):۷۷-۸۶.

6- Azinfar, H. Kells, J.A . 2007. Backwater effect due to a single spur dike. Canadian Journal of Civil Engineering, 34(1): 107-115.

7- Elawady, E. Michiue,M and Hinokidani,O. 2001. Movable bed scour around submerged spur-dikes. Annual Journal of Hydralic Engineering, 45:373-378.

8- -Keshavarzi, A. R. Valizadeh, M.and Ball, J. 2010. Experimental Study of the Effects of Submerged Dikes on the Energy and Momentum Coefficients in Compound Channel. Journal of Scientific Research, Engineering, 2(11): 855-862.

9- Kuhnle, R. A. Alonso,V. and Shields. F.D.1999.Geometry of scour holes as associated with 90 degree spur dikes .Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, 125 (9):972-978.

10- Masjedi, A. Peymani Foroushani, E. 2012 .Reduction of Local Scour by Shape of Single Spur Dike in River Bend. 9th ISE conferrence, Vienna.

11- Rahman,M. Nakagawa, H. Khaleduzzaman, A. Ishigaki,T.M and Muto, Y. 2004. On the formation of stable river course. Annuals of Disaster Prevention Research Institute.Kyoto University. No. 47B,pp. 601-616.

12- Rahman,M.. Nakagawa, H. Khaleduzzaman, A. Ishigaki, T. M and Muto, Y. 2006. Prediction of local scour depth around Bandal-like structures, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 50: 163-168.

13- Teraguchi, H. Nakagawa, H. Kawaike, K. Baba, Y. and Zhang, H. 2010. Morphological Changes induced by River Training Structures: Bandal-like structures and Groins. Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 53B: 505-518.

14- Teraguchi, H. Nakagawa, H.and Kawaike, K. 2011. Effects of hydraulic structures on river morphological processes .International Journal of Sediment Research, 26: 283-303.

15- Zhang, H. Nakagawa, H. Baba, Y. Kawaike, K. Teraguchi, H.2010. Three dimensional flow around bandal-like structures. Annual. Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 54: 175-180.

Shahid Chamran University of Ahvaz
Irrigation Sciences and Engineering **Vol. 40, No. 4, Winter 2018, p. 141-154**

EXTENDED ABSTRACT

Experimental Analysis of The Effect of Bandal-like Spur Dike Submergence on Bed Topography In 90 Degree Bend

M. Jalili [1], M. Bakhtiari[2*] , S. M. Kashefipour[3] andN. Shani Karamzadeh[4]

1- Graduate Master of Science of River Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology.
2*- Corresponding Author, Assistant professor of marine structure Engineering department, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, (*mortezabakhtiari@yahoo.com*).
3- Professor of water science department, Shahid Chamran University of Ahvaz.
5- Assistant professor of marine structure Engineering department, Khorramshahr University of Marine Science and Technology.

Received:26 February 2016 Accepted:24 September 2016

Keywords: Bed topograohy, 90 degree bend, Bandal-Like Spur Dike,Submergence.

Introduction

Spur dikes are one of the coastal protection methods. Bandal- like is a local type of spur dikes that would be constructed to improve the water depth for navigation in alluvial rivers. This is a new type of spur dike that is a combination of permeable and impermeable spur dike. The goal of this study was to investigation the effect of Bandal-like spur dike submergence on bed topography. For this purpose, Bandal-like was tested with 3 submergence ratios of (1/16,1/65,2/15) and different hydraulic conditions (0.22,0.235,0.26 and 0.29 Froud number) in mild 90 degree bend. The result show that by increasing of the submergence ratio, scouring around Bandal-like increase too. Also, the results showed that by increasing of the Froude number and densiometric Froude number, the maximum scour depth increases too The investigation of the maximum scour showed that the location of scouring does not match the shear stress pattern in mild bends.

Methodology

The experiments were carried out in Physical Models Laboratory of faculty of water science and engineering of Shahid Chamran university of Iran. The length of the direct channel in the upstream bend is 5 meters and at the bottom of the bend is 3 meters. Figure (1) shows the schematic of the experimental flume.

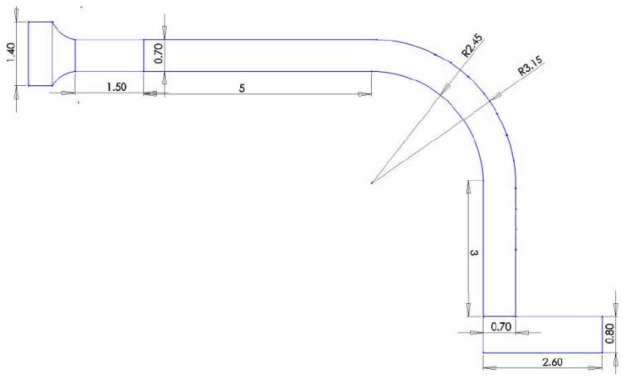


Figure1. Schematic of experimental flume

In this research, nine structures were placed in series inside the flume. Substrate sediments of natural sand with a mean size of 1.5 mm and standard deviation equivalent to 1.22 inches and expanded in a layer at a thickness of 22 cm on the floor of the flume. The length of the structures was 14 cm (equivalent to 20% of the flume width) and their spacing was 4 times the effective length of the structure. In all experiments, the first spur dike is intrusive and placed at an angle of 135 degrees from the upstream and in fact plays the role of a protective spur dike. Experimental tests are performed under various hydraulic characteristics. Three types of dikes are provided. Heights of dikes are 6.5, 8.5, and 12 centimeters and the width of dikes is 20 percent of the flume width. The flow rates are 25, 27, 30, and 33 liters per second. Froude numbers are 0.21, 0.23, 0.26, and 0.29.
Table (1) presents the pattern of tests.

Table1- The pattern of tests

Froud numbers	*discharge (lit/s)*	*Depth of water(y) (cm)*	*Permeability percentage*	*Submergence ratio (y/h)*	*Height of spur dike (cm)*
0.22-0.23-0.26-0.29	25-27-30-33	14	50%	2.15	6.5
			50%	1.65	8.5
			50%	1.16	12

Results and Discussion

In order to investigate the effect of the Bandal like spur dike submergence on the maximum scour depth, we plotted the maximum scour depth versus the Froude number.

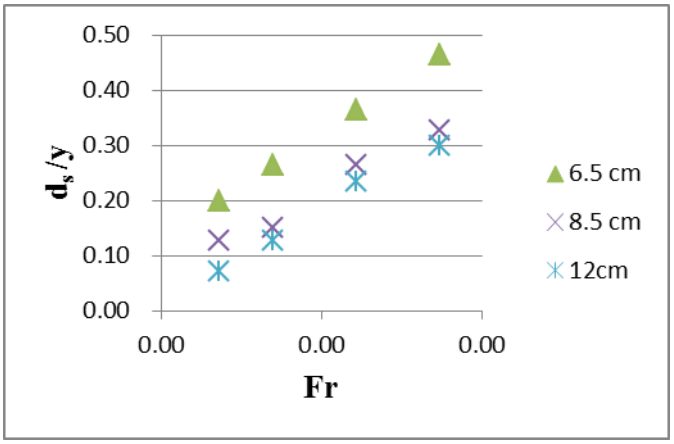


Fig2- Relationship between maximum scour depth and flow Froude number

As shown in Fig. 2, for all landing numbers, with the increase of the submergence of the structure, the maximum scour depth is also increased.
For example, in the Froude number of 0.22 structures with the highest ratio of submerging (2.15), it has the highest scour depth, which is 36% and 64.5% higher than those with a submersion ratio of 1.65 and 1.16, respectively.

In order to investigate the effect of submerged structure of the spur dike on the maximum scour depth, we plotted the maximum scour depth versus the densiometric Froude number.

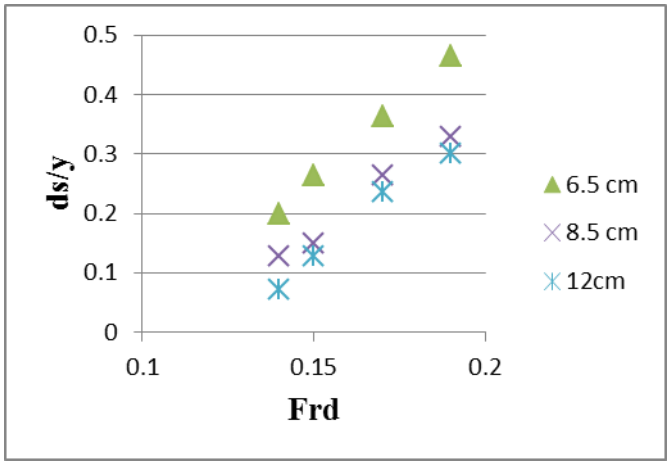


Fig3- Relationship between maximum scour depth and densiometric Froude number.

As shown in Fig. 3, for all Froude numbers, with the increase of the submergence of the structure, the maximum scour depth is also increased. For example, in the Froude number of 0.19, the structure with the highest ratio of submergence (2.15) has the highest scour depth, which is 36% and 64.5% higher than those with other submerging ratios, respectively.

Conclusions

In this research, the effect of the Bandal like structure submergence on the bed topography changes in 90 ° degree bend and under submerged conditions for three submersion ratios (1.16, 1.65, 2.15) and under four different Froude numbers (0.22,0.23,0.26,0.29) were studied. The results showed that:

- ✓ Submergence of the structure has a significant effect on the bed's topography and the maximum scour depth around the Bandal-like structure, and as the structure is submerging, the maximum depth of scour around the structure also increases.
- ✓ By increasing of the Froude number and the densiometric number, the maximum scour depth is increased as well.
- ✓ By increasing of the structure height (decreasing submergence), the sedimentation increases.