

تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ملایم ۹۰ درجه با نصب آبشکن مثلثی شکل

محمد بهرامی یاراحمدی^{۱*}، محمود شفاعی بجستان^۲

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

m_bahrami_1085@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۲۳

چکیده- به منظور کنترل آبشستگی در قوس بیرونی رودخانه‌ها از سازه‌های مختلفی مانند آبشکن، سرریز مستغرق، صفحات مستغرق و غیره برای اصلاح الگوی جریان رودخانه استفاده می‌شود. از اندرکنش این سازه‌ها و جریان آب، در اطراف سازه آبشستگی بوجود می‌آید که عامل اصلی تخریب آن‌ها است. فرض بر این است که تغییر هندسه و جانمایی سازه می‌تواند توپوگرافی بستر را در جهت پایداری آنها تغییر دهد و این از اهداف این پژوهش است. پس در این پژوهش آبشکن مثلثی شکل با زوایای مختلف (۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه) در جهت بالادست و تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت (اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳) آزمایش شد. در همه آزمایش‌ها تک آبشکن در موقعیت بیشترین عمق آبشستگی قوس ۹۰ درجه ملایم یعنی زاویه ۷۲ درجه نصب شد. عمق جریان در تمام آزمایش‌ها ثابت و برابر ۱۳ سانتی‌متر بوده است. توپوگرافی بستر در انتهای هر آزمایش برداشت و از روی آن محدوده آبشستگی، بیشینه عمق آبشستگی و نیز فاصله چاله آبشستگی و پشته رسوبگذاری پائین دست تا ساحل بیرونی، تعیین شد. نتایج این پژوهش نشان دادند که به طور کلی در محل پنجه آبشکن چاله آبشستگی تشکیل می‌شود که به بالادست و پائین دست سازه کشیده می‌شود. زوایای ۲۳ و ۶۰ درجه به ترتیب دارای کمترین و بیشترین، عمق آبشستگی و فاصله خط القعر از ساحل بیرونی است. بیشینه عمق آبشستگی زوایای ۲۳ و ۶۰ درجه به ترتیب ۰/۱۲۷ و ۰/۴۹۶ طول موثر سازه است درضمن فاصله بیشینه عمق آبشستگی (خط القعر) زوایای یاد شده از ساحل بیرونی بترتیب ۰/۷۴۳ و ۱/۶ طول موثر سازه است. با افزایش زاویه، فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی و توزیع آن در عرض مجرا، افزایش می‌یابد. در زوایای ۲۳ و ۷۰ درجه فاصله پشته رسوبگذار از ساحل بیرونی به ترتیب ۰/۲۲۸ و ۰/۳۶۵ طول موثر سازه است.

واژگان کلیدی: آبشکن مثلثی شکل، قوس ملایم ۹۰ درجه، آبشستگی و رسوبگذاری.

۱- مقدمه

آبشستگی بوجود می‌آید که عامل اصلی ناپایداری و

تخریب ساحل در رودخانه‌های مائندری است و همه ساله باعث خسارات به اراضی کشاورزی و تاسیسات مجاور

تحت تاثیر جریان‌های ثانویه و حلزونی شکل در قوس رودخانه‌ها، در محل پاشنه ساحل بیرونی قوس رودخانه

رودخانه‌ها می‌شود. یکی از روش‌های کنترل آبشستگی در قوس رودخانه‌ها استفاده از سازه‌های اصلاح الگوی جریان است که هدف از کاربرد آنها دور کردن چاله آبشستگی از محل پاشنه ساحل است. آبشکن‌ها، سرریزهای مستغرق^۱ و صفحات مستغرق^۲ از جمله سازه‌های اصلاح الگوی جریان است. در همه این سازه‌ها چاله آبشستگی با عمق بیشتری نسبت به ساحل بیرونی، در محل پنجه سازه که در معرض مستقیم جریان قرار دارد، شکل می‌گیرد و هرچند به دلیل فاصله‌ی سازه از ساحل باعث تخریب ساحل نمی‌شود ولی باعث ناپایداری سازه و تخریب آن می‌شود.

آبشکن‌ها از جمله سازه‌هایی است که به شکل مستطیل و با زاویه ۹۰ درجه نسبت به ساحل (عمود بر جریان)، از دیرباز مورد استفاده قرار گرفته است. در این سازه نیز پدیده‌ی آبشستگی دماغه آن و گسترش آن به حدی است که باعث تخریب خود سازه نیز می‌شود به همین علت بیشتر پژوهش‌ها صورت گرفته بر آبشکن در رابطه با الگوی فرسایش و رسوبگذاری مخصوصاً بیشینه عمق آبشستگی در اطراف آن است. در این رابطه می‌توان به منابع با ارزشی چون عباس‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، موسوی و همکاران (۱۳۸۹)، دوان (۲۰۰۹)، شارما و ماهاپاترا (۲۰۱۲)، یان و همکاران (۲۰۱۲) و ... اشاره کرد. نتایج پژوهش‌های آنها نشان می‌دهد که به علت الگوی جریان سه بعدی که در اطراف سازه تک آبشکن شکل می‌گیرد توسعه‌ی چاله آبشستگی تا ساحل بیرونی نیز می‌رسد.

سرریزهای مستغرق سازه‌هایی شبیه به آبشکن ولی به صورت مستغرق است و با زاویه ۳۰ تا ۶۰ درجه به سمت بالادست احداث می‌شوند. مطالعات میدانی و آزمایشگاهی مختلفی که انجام شده است توسعه‌ی چاله آبشستگی در محل پنجه‌ی این سازه (هر چند با ابعاد کمتر از چاله پای

آبشکن) نیز گزارش شده است. در این خصوص می‌توان به پژوهش‌های جراح زاده و شفافی بجستان (۱۳۹۱)، مشکورنیا و شفافی بجستان (۱۳۹۲)، شفافی بجستان و همکاران (۲۰۱۰)، ابد و همکاران (۲۰۰۸) و جیا و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد.

با توجه به مطالب فوق ملاحظه می‌شود که تغییر ابعاد، شکل و روش نصب سازه‌هایی مانند آبشکن می‌تواند منجر به کاهش عمق چاله آبشستگی اطراف سازه شود. به طور مثال می‌توان آبشکن‌های T شکل یا L شکل را نسبت به آبشکن معمولی (مستطیلی ساده) نام برد. عزیزی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه روی تاثیر شکل صفحات مستغرق به این نتیجه رسیدند که صفحه مثلثی شکل دارای کمترین عمق آبشستگی است در حالی که میزان قدرت گرداب دنباله‌دار و یا به عبارتی عملکرد آن تغییر ناچیزی نسبت به صفحه معمولی مستطیلی داشته است. بویان و همکاران (۲۰۱۰) نیز با به کار بردن تک صفحه‌ی مثلثی متصل به ساحل با زوایای ۲۰ و ۳۰ درجه (نسبت به ساحل بالادست) در فلوم سینوسی نتیجه گرفتند که صفحات، عمق آبشستگی کمتری نسبت به آبشکن‌ها، ایجاد می‌کنند.

از این رو با در نظر گرفتن اینکه در رابطه با عملکرد آبشکن‌های مثلثی شکل و الگوی آبشستگی و رسوبگذاری در اطراف آنها اطلاعات اندکی موجود است، این مطالعه صورت گرفته است و در این مقاله نتایج تاثیر تک آبشکن مثلثی شکل بر تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه ارائه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر بر پدیده آبشستگی حول آبشکن مثلثی شکل در قوس با رابطه ذیل مشخص می‌شود:

1- Bendway Weir
2- Submerged Vane

$$\emptyset = f(B_0, \lambda, S_0, R_c, \theta, L_e, \alpha, h, L, Y, Q, g, \rho, \mu, d_{50}, \sigma) \quad (1)$$

در این رابطه B_0 عرض مجرا (۷۰ سانتیمتر)، λ زاویه مرکزی قوس (۹۰ درجه)، S_0 شیب طولی کف مجرا (نزدیک به صفر)، R_c شعاع مرکزی قوس، θ زاویه موقعیت قرارگیری سازه در قوس (۷۲ درجه)، L_e طول موثر سازه (فاصله نوک سازه در بستر از ساحل بیرونی، که اندازه آن یک سوم عرض مجرا بوده است)، α زاویه محور سازه نسبت به خط مماس بر ساحل بیرونی بالادست، h ارتفاع سازه (۱۳ سانتیمتر)، L طول سازه، Y عمق جریان در مسیر مستقیم بالادست قوس (۱۳ سانتیمتر)، Q دبی جریان، g شتاب ثقل، ρ جرم واحد حجم مایع، μ لزوجت دینامیکی مایع، d_{50} اندازه متوسط مصالح بستر (۱/۵ میلی متر)، σ ضریب انحراف استاندارد رسوبات بستر (۱/۲۲)، تعریف شده است.

با استفاده از تئوری باکینگهام پارامترهای بی بعد استخراج شد. پس از حذف پارامترهای ثابت و پارامترهای کم اهمیت، در پایان رابطه زیر برای بررسی آثار متغیرهای موثر بر آبشستگی حول آبشکن مثلثی شکل در قوس به دست می آید:

$$\frac{\emptyset}{Y} = f(\theta, \alpha, F_r, \frac{h}{L}) \quad (2)$$

در رابطه فوق F_r عدد فرود جریان در مسیر مستقیم بالادست قوس و $\frac{h}{L}$ معرف شیب تاج سازه است. با توجه به اینکه در همه زوایا، طول موثر سازه به اندازه یک سوم عرض مجرا است بنابراین مقدار شیب تاج سازه متغیر خواهد بود. با افزایش زاویه سازه، به علت ثابت بودن طول موثر سازه و ارتفاع سازه، شیب تاج سازه نیز افزایش می یابد. بنابراین ارتباط شیب تاج سازه و زاویه سازه به صورت مستقیم است. پارامتر $\emptyset$ بیانگر پارامترهای آبشستگی و رسوب گذاری است که در این

پژوهش عبارتند از:

$$Z_{\max} = \text{بیشینه عمق آبشستگی}$$

$$S_1 = \text{فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی}$$

$$S_2 = \text{کمینه فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی}$$

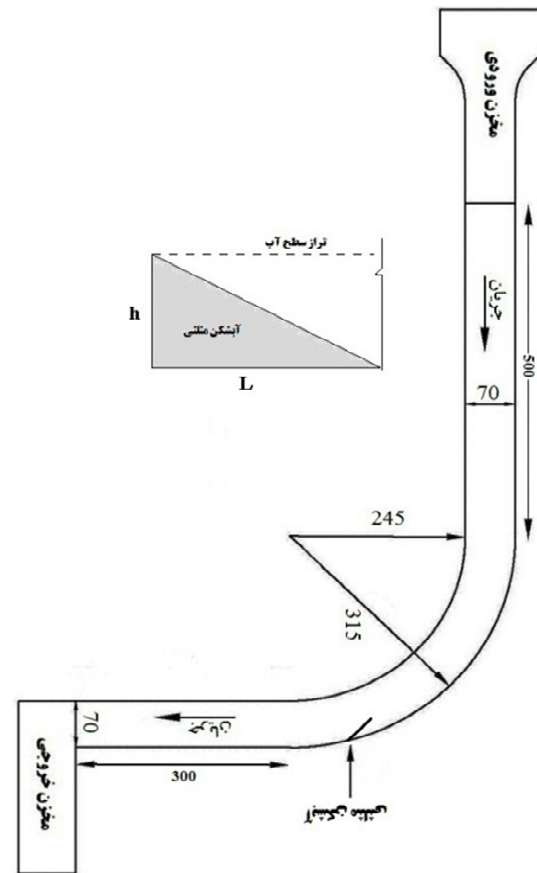
۲-۲- تجهیزات آزمایشگاهی و چگونگی انجام آزمایش

آزمایش های این پژوهش در فلوم شیشه ای قوسی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه و در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. عرض فلوم ۷۰ سانتی متر و نسبت شعاع قوس به عرض (R/B) آن ۴ است که در گروه قوس های ملایم قرار می گیرد. (رزفسکی، ۱۹۵۷). طول کانال مستقیم در بالادست قوس ۵ متر و در پائین دست قوس ۳ متر است. در انتهای فلوم یک دریچه کشویی برای تنظیم عمق جریان قرار دارد. نمایی از فلوم مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است. برای اندازه گیری دبی جریان، دبی سنج آلتراسونیک مورد استفاده قرار گرفت؛ که میزان دقت دستگاه به ازای سرعت های کوچکتر و مساوی ۰/۵ m/s برابر ۱٪ میزان قرائت شده و برای سرعت های بزرگتر از ۰/۵ m/s معادل ۰/۵ cm/s $\pm$ بوده که دقت مناسبی به حساب می آید.

رسوبات بستر از ماسه ی طبیعی با اندازه ی متوسط (d_{50}) معادل ۱/۵ میلی متر و ضریب انحراف استاندارد ($\sigma = \sqrt{d_{84}/d_{16}}$) معادل ۱/۲۲ انتخاب و در لایه ای به ضخامت ۲۰ سانتی متر در کف فلوم گسترانیده شد. برای تسطیح کردن سطح رسوبات در طول فلوم، از ارابه ای مجهز به یک صفحه فلزی قائم، با قابلیت جابه جایی در عرض فلوم، استفاده شد.

در این پژوهش چون هدف مقایسه تغییرات توپوگرافی بستر در زوایا و شرایط هیدرولیکی متفاوت است و نه استخراج معادله‌ای برای بیشینه عمق آبشستگی، زمان انجام هر آزمایش ۳ ساعت در نظر گرفته شد (جانسون و همکاران، ۲۰۰۱).

بعد از اتمام هر آزمایش ابتدا دریچه‌ی کشویی انتهای فلوم به آرامی پائین آورده می‌شد سپس شیر جریان ورودی به فلوم بسته و مدت یک ساعت طول می‌کشید تا جریان به صورت تدریجی بدون تغییر در توپوگرافی ایجاد شده، خارج و بستر فلوم زهکشی شود. پس از زهکشی شدن بستر، توپوگرافی بستر شکل گرفته با استفاده از متر لیزری برداشت می‌شد. در آزمایش‌ها از دبی‌های ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۶ لیتر در ثانیه با عمق ثابت ۱۳ سانتی‌متر (اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳) در شرایط آب زلال استفاده شد. عمق آب به گونه‌ای انتخاب شد که بالاترین تراز تاج سازه (که چسبیده به ساحل بیرونی است) و تراز آب، یکسان باشند.



شکل (۱) پلان فلوم قوسی ۹۰ درجه و موقعیت آبشکن مثلی در قوس بیرونی (در شکل فوق ابعاد بر حسب سانتیمتر می‌باشند)

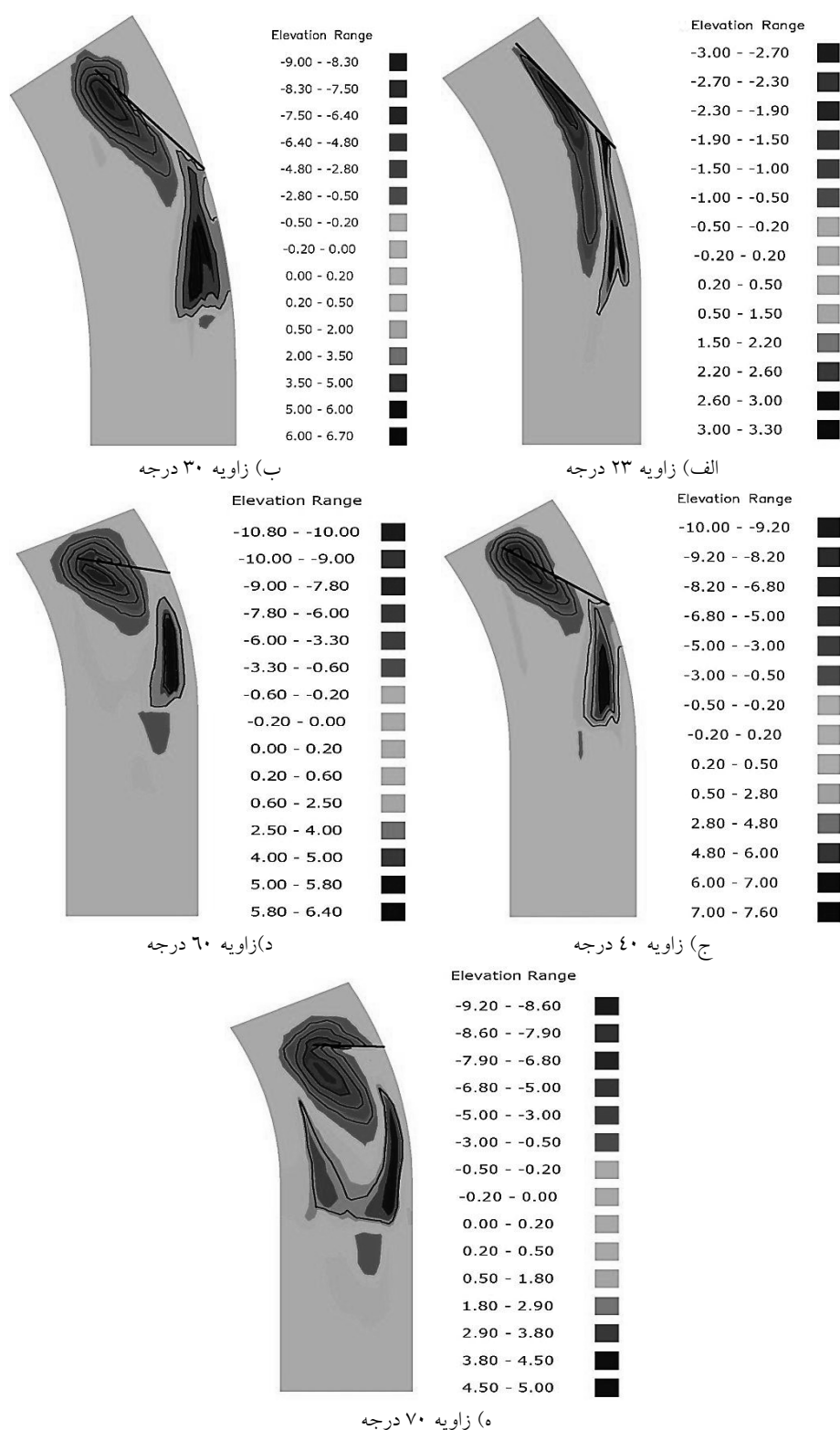
۳- نتایج و بحث

۳-۱- الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری اطراف تک آبشکن مثلی

توپوگرافی بستر برداشت شده، با استفاده از نرم افزار Civil3d ترسیم شد. به عنوان نمونه شکل ۲ تغییرات توپوگرافی بستر را برای زوایای مختلف به ازای عدد فرود ۰/۲۱۴ نشان می‌دهد.

نتایج نشان دادند که در پنجه‌ی سازه، چاله آبشستگی تشکیل شد. وسعت و حجم چاله آبشستگی در همه زوایا، در پائین دست محور سازه بزرگتر از بالادست آن است. در زاویه ۲۳ درجه در بالادست محور سازه آبشستگی رخ نداد.

آبشکن مثلی شکل مورد استفاده در این تحقیق، از جنس پلکسی گلاس و به ضخامت ۵ میلی‌متر ساخته شد. با در نظر گرفتن محدوده‌ی فرسایشی بر اساس نظر اداره مهندسی ارتش آمریکا (USACE, 1981) و نیز آزمایش‌های اولیه بدون حضور آبشکن مثلی، محدوده فرسایش پذیر در قوس تعیین شد. بنابراین در این مطالعه تک آبشکن مثلی در موقعیت ۷۲ درجه در قوس بیرونی ($\theta = 72^\circ$) نصب شد. زوایای محور آبشکن نسبت به خط مماس بر ساحل بیرونی بالادست (α) بترتیب ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه و طول موثر سازه (فاصله نوک آبشکن در بستر از ساحل بیرونی، که همان طول تصویر شده آبشکن است) در همه زوایا یک سوم عرض فلوم بوده است.



شکل (۲) تغییرات توپوگرافی بستر در آزمایش‌های این پژوهش برای عدد فرود ۰/۲۱۴

سازه ($\theta = 72^\circ$) صورت نگرفت.

در زوایای ۲۳، ۳۰ و ۴۰ درجه چنین گرداب افقی معکوسی (ناحیه ماند جریان) دیده نشد. در این زوایا جریان نزدیک بستر در راستای محور آبشکن و به موازات آن بود و باعث انتقال رسوبات فرسایش یافته به ساحل بیرونی شد. با دقت در شکل ۲ ملاحظه می‌شود که برخلاف زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه، ترسیب رسوب در ساحل بیرونی از همان موقعیت نصب سازه در ساحل بیرونی صورت گرفته است.



شکل (۳) نمایش انحراف جریان از ساحل بیرونی به طرف مرکز مجرا به وسیله آبشکن مثلی به ازای زاویه ۲۳ درجه با استفاده از ماده رنگی

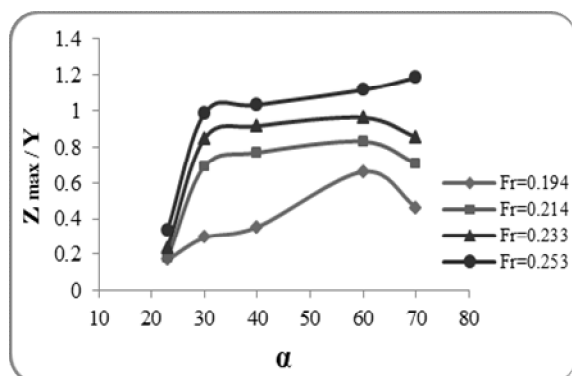
ترسیب رسوب در ساحل بیرونی باعث پرشدن چاله فرسایشی ساحل بیرونی و ایجاد ساحل جدید در ساحل بیرونی رودخانه‌ها می‌شود. در زوایای ۲۳ و ۳۰ درجه همه رسوبات حاصل از فرسایش در ساحل بیرونی ترسیب یافتند با بزرگتر شدن زاویه آبشکن، ترسیب رسوب در عرض بیشتری از مقطع صورت گرفت به گونه‌ای که در زاویه ۷۰ درجه ترسیب در بیشتر عرض مقطع (ساحل بیرونی و مرکز و ساحل داخلی) رخ داد. بنابراین زوایای ۲۳ و ۳۰ درجه برای پر کردن چاله فرسایشی ساحل بیرونی و ایجاد ساحل جدید از دیگر زوایا مناسبتر است. حجم رسوبات ترسیب یافته متناسب با میزان فرسایش در نوک

مشاهده بصری با تزریق ماده رنگی نشان داد که در زوایای ۲۳ و ۳۰ درجه در بالادست محور سازه گردابه‌های قائم با محور افقی تشکیل نشدند. با افزایش زاویه سازه به علت ازدیاد برخورد جریان با سازه، گردابه‌های قائم با محور افقی و در نتیجه گردابه‌های نعل اسبی شکل گرفتند که باعث فرسایش در بالادست محور سازه و گسترش آن در اطراف پنجه سازه شدند. در ضمن جریان نزدیک شونده به آبشکن مثلی از روی تاج سازه به طرف میانه فلوم منحرف می‌شد. جریان عبوری از روی تاج در پائین دست محور سازه به بستر برخورد می‌کرد و تشکیل جریان ثانویه پادساعتگرد می‌داد. از طرفی به علت تنگ شدن مجرای جریان عبوری، تنش برشی بستر افزایش یافت. برخورد جریان عبوری از روی تاج به بستر و افزایش تنش برشی بستر، باعث آبشستگی در اطراف آبشکن مثلی و پائین دست محور آنها شد. جریان ثانویه پادساعتگرد باعث عدم انتقال موقعیت بیشینه سرعت به طرف ساحل بیرونی و عدم برخورد جریان ثانویه اصلی قوس (ساعتگرد) به ساحل بیرونی می‌شود و بدین طریق آبشکن مثلی می‌تواند از فرسایش ساحل بیرونی جلوگیری کند.

در شکل ۳ انحراف جریان از ساحل بیرونی به طرف مرکز فلوم به وسیله آبشکن مثلی شکل به ازای زاویه ۲۳ درجه، با تزریق ماده رنگی نشان داده شده است.

تزریق ماده رنگی نشان داد که در زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه یک گردابه افقی معکوس با محور قائم در پشت سازه (ناحیه ماند جریان) ایجاد شد. با دقت در شکل ۲ ملاحظه می‌شود که در زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه به دلیل بوجود آمدن جدائی جریان در اطراف سازه، جریان نزدیک بستر در راستای سازه و به موازات آن نبود و نقطه بازگشت جریان در ساحل بیرونی پس از ناحیه ماند جریان اتفاق افتاد، به همین علت آغاز رسوب‌گذاری از موقعیت نصب

تشکیل جریان ثانویه پادساعتگرد، در پشت محور سازه (سمت راست آبشکن به طرف ساحل داخل) ایجاد شد. در زاویه ۷۰ درجه به ازای اعداد فرود ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ ماکزیمم عمق آبشستگی، در اثر گردابه‌های قائم با محور افقی و گردابه‌های نعل اسبی در بالادست محور سازه، در جلوی محور سازه (بین نوک سازه و ساحل بیرونی) رخ داد. به نظر می‌رسد برای زوایای بزرگتر از ۷۰ درجه ماکزیمم عمق آبشستگی در جلوی محور سازه تشکیل می‌شود.



شکل (۴) تغییرات بیشینه عمق آبشستگی نسبی برحسب زاویه نصب آبشکن مثلثی برای اعداد فرود مختلف

با افزایش زاویه سازه به علت افزایش اختلاف فشار در بالادست و پائین دست سازه، قدرت گردابه برخورد کننده به بستر در پائین دست محور سازه افزایش یافت که نتیجه آن افزایش چاله آبشستگی از نظر عمق و حجم بود و بیشینه عمق آبشستگی افزایش پیدا کرد.

از دیگر نتایج شکل ۴ این است که، با افزایش عدد فرود جریان، به علت ازدیاد تنش برشی و قدرت گردابه‌ها در اطراف سازه، ماکزیمم عمق آبشستگی در همه زوایا افزایش یافت.

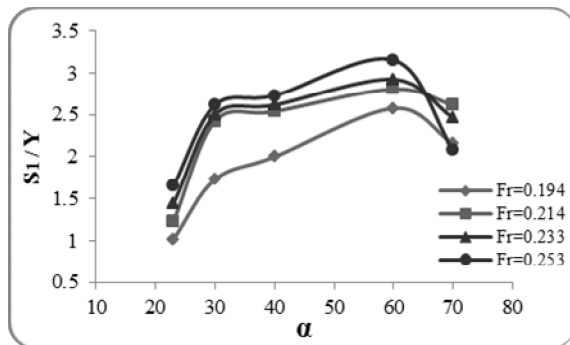
به طور متوسط بیشینه عمق آبشستگی زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه به ترتیب ۰/۱۲۷، ۰/۳۹، ۰/۴۲۷، ۰/۴۹۶ و ۰/۴۴۶ طول موثر سازه است.

سازه بود. با افزایش عدد فرود جریان و زاویه سازه نسبت به ساحل بالادست آبشستگی پنجه سازه و در نتیجه حجم رسوبات ترسیب یافته افزایش یافت.

نتایج بالا مربوط به تک آبشکن بود و در صورتی که این آبشکن‌های مثلثی به صورت سری نصب شوند، چاله آبشستگی در محل پنجه به صورت طولی گسترش پیدا خواهد کرد و خط القعر رودخانه به مناطق میانی رودخانه منتقل شده که این امر از تخریب ساحل بیرونی جلوگیری کرده و شرایط لازم را برای ناوبری نیز فراهم خواهد کرد. رسوب‌گذاری نیز در بین سازه‌ها منجر به ایجاد ساحل جدید می‌شود که در سامانه‌های رودخانه‌ها بسیار اهمیت دارد.

۳-۲- تغییرات بیشینه عمق آبشستگی

در شکل ۴ تغییرات بیشینه عمق آبشستگی نسبی (Z_{max}/Y) به ازای زوایا و اعداد فرود متفاوت نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که در هر عدد فرود با افزایش زاویه آبشکن نسبت به ساحل بالادست تا ۶۰ درجه، بیشینه عمق آبشستگی ازدیاد، ولی در زاویه ۷۰ درجه مقدار آن کاهش یافت. در هر عدد فرود، زوایای ۲۳ و ۶۰ درجه به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار عمق آبشستگی بودند. البته در عدد فرود ۰/۲۵۳ بیشترین مقدار عمق آبشستگی در زاویه ۷۰ درجه رخ داده است. برای اعداد فرود بزرگتر مساوی ۰/۲۱۴ ماکزیمم عمق آبشستگی از ۲۳ درجه تا ۳۰ درجه افزایش ناگهانی داشته ولی برای زوایای بزرگتر از ۳۰ درجه روند تغییرات بسیار کاهش یافته است. در همه آزمایش‌ها به غیر از زاویه ۷۰ درجه (به ازای اعداد فرود ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳) ماکزیمم عمق آبشستگی، در اثر برخورد جریان عبوری از روی تاج سازه به بستر و



شکل (۵) تغییرات فاصله نسبی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی بر حسب زاویه سازه برای اعداد فرود مختلف

در شکل ۶ تغییرات فاصله نسبی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی (S_1/Y) بر حسب اعداد فرود به ازای زوایای متفاوت ارائه شده است. با دقت در شکل ملاحظه می‌شود که، در همه زوایا به غیر از زاویه ۷۰ درجه، با افزایش عدد فرود فاصله ماکزیم عمق آبشستگی از ساحل بیرونی افزایش یافت. در زاویه ۷۰ درجه روند نمودار، صعودی-نزولی است.

از عدد فرود ۰/۱۹۴ تا ۰/۲۱۴ نمودار صعودی است. در عدد فرود ۰/۲۱۴ فاصله ماکزیم عمق آبشستگی از ساحل بیرونی بیشترین مقدار را داشت. از عدد فرود ۰/۲۱۴ به بعد روند نمودار نزولی است و در عدد فرود ۰/۲۵۳ فاصله ماکزیم عمق آبشستگی از ساحل بیرونی دارای کمترین مقدار بود. با افزایش زاویه آبشکن نسبت به ساحل بالادست در اثر افزایش قدرت گردابه‌های قائم و نعل اسبی در بالادست محور سازه، آبشستگی بالادست محور آبشکن افزایش یافت بطوریکه در زاویه ۷۰ درجه به ازای اعداد فرود ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ ماکزیم عمق آبشستگی در بالادست محور سازه (بین نوک آبشکن و ساحل بیرونی) رخ داد به همین دلیل در اعداد فرود مذکور فاصله ماکزیم عمق آبشستگی از ساحل بیرونی کاهش یافت.

به طور متوسط، بیشینه عمق آبشستگی زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰ و ۷۰ درجه به ترتیب ۲۵/۶، ۷۸/۶، ۸۶ و ۹۰ درصد بیشینه عمق آبشستگی زاویه ۶۰ درجه است.

۳-۳- موقعیت بیشینه عمق آبشستگی

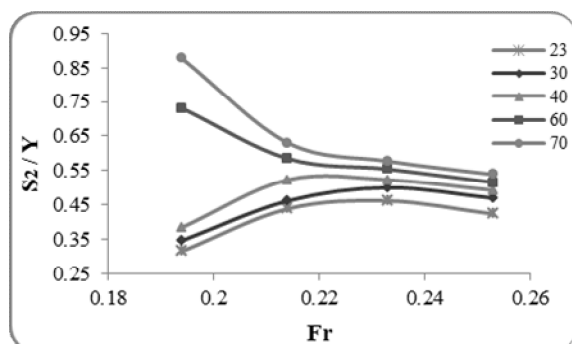
در شکل ۵ تغییرات فاصله نسبی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی بر حسب زوایای سازه به ازای اعداد فرود متفاوت ترسیم شده است. محور عمودی آن پارامتر بی‌بعد فاصله نسبی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی (S_1/Y) و محور افقی آن زاویه آبشکن مثلثی نسبت به ساحل بالادست (α) است.

با دقت در این شکل ملاحظه می‌شود که، در همه اعداد فرود با بزرگتر شدن زاویه نصب تا زاویه ۶۰ درجه، فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی افزایش یافت ولی در زاویه ۷۰ درجه مقدار آن کاهش یافته است بنابراین زاویه ۶۰ درجه دارای بیشترین فاصله بیشینه عمق آبشستگی و خط القعر از ساحل بیرونی بود. با افزایش زاویه سازه، گرداب برخورد کننده به بستر و جریان ثانویه پادساعتگرد در پشت محور سازه از ساحل بیرونی فاصله گرفته که نتیجه آن دور شدن بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی به ازای افزایش زاویه آبشکن مثلثی است. برای اعداد فرود بزرگتر یا مساوی ۰/۲۱۴ روند تغییرات فاصله بیشینه عمق آبشستگی بین زوایای ۲۳ و ۳۰ درجه زیاد است ولی برای زوایای بزرگتر از ۳۰ درجه روند تغییرات ملایم می‌شود.

به طور متوسط فاصله بیشینه عمق آبشستگی و خط القعر زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه از ساحل بیرونی به ترتیب ۰/۷۴۳، ۱/۲۸۸، ۱/۳۷۶، ۱/۶ و ۱/۳ طول موثر سازه است.

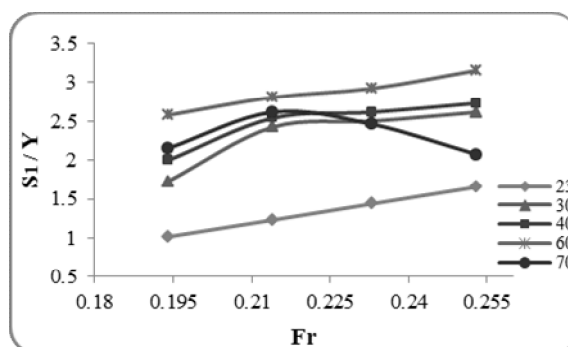
بیرونی افزایش یافت، توزیع آن نیز در عرض مجرا بیشتر شد. بیشترین تغییرات در عدد فرود ۰/۱۹۴ رخ داده است ولی برای اعداد فرود بزرگتر مساوی ۰/۲۱۴ در همه زوایا روند تغییرات یکسان و ملایم تر شد.

نتایج نشان دادند که در زوایای ۲۳، ۳۰ و ۴۰ درجه حداقل فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی در موقعیت نصب سازه ($\theta = 72^\circ$) قرار داشت و با حرکت به طرف پائین دست فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی به تدریج زیاد شد.



شکل (۷) تغییرات کمینه فاصله نسبی پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی بر حسب عدد فرود برای زوایای مختلف

در زاویه ۶۰ درجه، به ازای اعداد فرود ۰/۱۹۴ و ۰/۲۱۴ شروع ترسیب رسوبات از موقعیت نصب سازه ($\theta = 72^\circ$) صورت گرفت و از این مقطع به طرف پائین دست فاصله پشته رسوبگذار از ساحل بیرونی کاهش یافت و در مقاطع ۷۴/۵ الی ۷۶ درجه از ابتدای قوس (به فاصله ۱/۷- ۱/۰۶ برابر عمق جریان بازه مستقیم بالادست قوس، از موقعیت نصب سازه)، به کمینه فاصله رسید. از این مقطع به طرف پائین دست فاصله پشته رسوبگذار از ساحل بیرونی افزایش یافت. در اعداد فرود ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ رسوبگذاری از مقطع ۷۵ درجه از ابتدای قوس (به فاصله ۱/۲۷ برابر عمق جریان بازه مستقیم بالادست قوس، از موقعیت نصب سازه) آغاز شد و حداقل فاصله پشته



شکل (۶) تغییرات فاصله نسبی بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی بر حسب اعداد فرود برای زوایای متفاوت

۳-۴- فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی

فاصله رسوبات ترسیب یافته از ساحل بیرونی معیاری برای تشخیص توانایی هر سازه‌ای در ایجاد ساحل مجازی است. تغییر پارامترهای هیدرولیکی جریان و هندسی سازه، بر ابعاد پشته رسوبی و فاصله آن از ساحل بیرونی و نحوه توزیع آن تاثیرگذار است.

شکل ۷ بیانگر تغییرات کمینه فاصله نسبی پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی (S_2/Y) بر حسب عدد فرود برای زوایای مختلف است.

با دقت در شکل ملاحظه می‌شود که، در هر عدد فرود با افزایش زاویه آبشکن نسبت به ساحل بالادست، کمینه فاصله پشته رسوبگذار از ساحل بیرونی بیشتر شد. در زاویه ۲۳ درجه پشته رسوبگذار از ساحل بیرونی کمترین فاصله و در زاویه ۷۰ درجه بیشترین فاصله را داشت. در زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه رسوبات حاصل از فرسایش در پائین دست سازه در بیشتر عرض مقطع (ساحل بیرونی و مرکز و ساحل داخلی) و با فاصله بیشتری از ساحل بیرونی، نسبت به زوایای ۲۳ و ۳۰ درجه، ترسیب پیدا کردند که این امر در زاویه ۷۰ درجه مشهودتر است. بنابراین علاوه بر اینکه با افزایش زاویه، کمینه فاصله پشته رسوبگذار از ساحل

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه عملکرد آبشکن مثلثی شکل تحت زوایای مختلف به ازای شرایط جریان متفاوت در آزمایشگاه و در فلوم قوسی ۹۰ درجه بررسی شد. نتایج نشان دادند که با افزایش زاویه سازه، بیشینه عمق آبشستگی و همچنین فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل بیرونی افزایش یافت به گونه‌ای که زوایای ۲۳ و ۶۰ درجه به ترتیب دارای کمترین و بیشترین عمق آبشستگی است. به طور متوسط بیشینه عمق آبشستگی زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه به ترتیب ۰/۱۲۷، ۰/۳۹، ۰/۴۲۷، ۰/۴۹۶ و ۰/۴۴۶ طول موثر سازه بوده است. و همچنین به طور متوسط فاصله بیشینه عمق آبشستگی و خط القعر زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه از ساحل بیرونی به ترتیب ۰/۷۴۳، ۱/۲۸۸، ۱/۳۷۶، ۱/۶ و ۱/۳ طول موثر سازه شده است.

رسوبات حاصل از فرسایش به وسیله‌ی جریان نزدیک بستر به طرف پائین دست منتقل شده و در آنجا ترسیب پیدا کردند. در زوایای ۲۳، ۳۰ و ۴۰ درجه شروع رسوب‌گذاری از موقعیت نصب سازه در ساحل بیرونی بوده و تا پائین دست ادامه یافت ولی در زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه شروع رسوب‌گذاری با فاصله از موقعیت نصب سازه و همچنین ساحل بیرونی بوده است. نتایج نشان دادند که با افزایش زاویه سازه، فاصله کیمنه پشته رسوبگذاری شده و همچنین توزیع آن در عرض مجرا بیشتر شده است به گونه‌ای که زوایای ۲۳ و ۷۰ درجه به ترتیب دارای کمترین و بیشترین فاصله پشته رسوبگذار از ساحل بیرونی است. به طور متوسط کیمنه فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی در زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه به ترتیب ۰/۲۲۸، ۰/۲۴۷، ۰/۲۶۷، ۰/۳۳۲ و ۰/۳۶۵ طول موثر سازه و ۷/۶، ۸/۲۵، ۹، ۱۱ و ۱۲ درصد عرض فلوم است.

رسوبگذار در همین مقطع بود. در زاویه ۷۰ درجه به ازای همه اعداد فرود، رسوبات در مقطع ۷۵ درجه از ابتدای قوس شروع به ترسیب کردند (به فاصله ۱/۲۷ برابر عمق جریان بازه مستقیم بالادست قوس، از موقعیت نصب سازه). از این مقطع به طرف پائین دست فاصله پشته رسوب‌گذاری شده از ساحل بیرونی کاهش یافت و در مقاطع ۷۸ الی ۸۲ درجه از ابتدای قوس (به فاصله ۴/۲۳- ۲/۵۴ برابر عمق جریان بازه مستقیم بالادست قوس، از موقعیت نصب سازه)، فاصله به کیمنه رسید و از این مقطع به طرف پائین دست فاصله به تدریج افزایش یافت.

در زوایای ۲۳، ۳۰ و ۴۰ درجه جریان نزدیک بستر که حامل رسوبات فرسایش یافته است، در راستای سازه و به موازات آن بود. بنابراین رسوبات به طرف موقعیت نصب سازه در ساحل بیرونی انتقال داده شدند و ترسیب رسوبات از موقعیت نصب سازه شروع شده و تا پائین دست ادامه یافت. ولی در زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه به دلیل بوجود آمدن جدائی جریان در اطراف سازه، جریان نزدیک بستر در راستای سازه و به موازات آن نبود و نقطه بازگشت جریان در ساحل بیرونی پس از ناحیه ماند جریان اتفاق افتاد به همین علت آغاز رسوبگذاری از موقعیت نصب سازه $(\theta = 72^\circ)$ رخ نداد.

با دقت در شکل ۷ ملاحظه می‌شود که در زوایای ۲۳، ۳۰ و ۴۰ درجه با افزایش عدد فرود جریان کیمنه فاصله پشته رسوبگذار افزایش یافته است. در زوایای ۶۰ و ۷۰ درجه با افزایش عدد فرود جریان کیمنه فاصله پشته رسوب‌گذار کاهش یافت.

به طور متوسط کیمنه فاصله پشته رسوب‌گذاری شده از ساحل بیرونی در زوایای ۲۳، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۷۰ درجه به ترتیب ۰/۲۲۸، ۰/۲۴۷، ۰/۲۶۷، ۰/۳۳۲ و ۰/۳۶۵ طول موثر سازه و ۷/۶، ۸/۲۵، ۹، ۱۱ و ۱۲ درصد عرض مجرا است.

۵- تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم انجام شده است. به این وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- منابع

- [۷] مشکورنیا، ه. و شفاعی بجستان، م؛ "بررسی تأثیر طول سرریز مستغرق بر تغییرات توپوگرافی بستر در خم ۹۰ درجه ی تند"؛ مجله پژوهش آب ایران؛ ۱۳۹۲.
- [8] Shafai Bejestan, M., Jarrah zade, F., Ramesh, S., Mashkoornia, H; "Experimental study on Bendway weirs"; River Flow, Dittrich, Koll, Aberle & Geisenhainer (eds), 2010, PP 1347-1352.
- [9] Abad, J. D., Rhoalds, B. L., Güneralp, I., and García, M. H; "Flow Structure at Different Stages in a Meander-Bend with Bendway Weirs"; Journal of Hydraulic Engineering; Vol. 134, No. 8, 2008, PP. 1052-1063.
- [10] Jia, Y., Scott, S., Xu, Y., Huang, S., Wang, S. S. Y; "Numerical Study of Flow Affected by Bendway Weirs in Victoria Bendway, the Mississippi River"; Journal of Hydraulic Engineering; ASCE, 135(11), 2009, PP. 902-916.
- [۱۱] عزیزی، ر.، شفاعی بجستان، م.، قمشی، م.، و موسوی جهرمی، ح؛ "تأثیر شکل صفحه‌ی مستغرق بر آبشستگی موضعی و الگوی رسوب‌گذاری در کانال‌های آبرفتی"؛ مجله دانش آب و خاک؛ دانشگاه تبریز، جلد ۲۲، شماره ۲، ۱۳۹۱، ص ۶۷-۷۸.
- [12] Bhuiyan, F., Hey, R. D., and Wormleaton, P. R; "Bank-Attached Vanes for Bank Erosion Control and Restoration of River Meanders"; Journal of Hydraulic Engineering; Vol. 136, No. 9, 2010, PP. 583-596.
- [13] Rozovskii, I. L; Flow of Water in Bends of Open Channels; National Science Foundation and the Department of the Interior, 1961 - Channels (Hydraulic engineering), 1957, 233 pages.
- [14] Lagasse, P. F., Zevenbergen, L. W., Schall, J. D., Cooper, P. E; "Bridge scour and stream instability countermeasures"; Rep. No. FHWA-NH1-01-003, Hydraulic Engineering Circular N° 23(HEC-23), 2nd Ed., Office of Bridge Technology, Federal Highway Administration, Washington, D.C, 2001.
- [15] Johnson, P. A., Hey, R. D., Tessier, M. and Rosgen, D. L; "Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments"; J. Hydraul. Eng; 127(9), 2001, PP. 772-778.
- [۱] عباس پور، م.، واقفی، م.، قدسیان، م؛ "بررسی اثر نسبت استغراق آبشکن های T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه بر توپوگرافی بستر"؛ نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران؛ ۱۳۸۹، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۲] موسوی، ب.، صانعی، م.، سلاجقه، ع.، معتمد وزیری، ب؛ "بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول آبشکن در کاهش فرسایش کناره‌ای رودخانه"؛ مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گزارش فنی، سال چهارم، شماره ۱۲، ۱۳۸۹، ص ۶۸-۶۵.
- [3] Duan, J. G; "Mean Flow and Turbulence around a Laboratory Spur Dike"; Journal of Hydraulic Engineering; Vol. 135, 2009, No. 10.
- [4] Sharma, K., Mohapatra, P; "Separation Zone in Flow past a Spur Dyke on Rigid Bed Meandering Channel"; Journal of Hydraulic Engineering, 138(10), 2012, PP. 897-901.
- [5] Yun, L., Baomin, W., Yongqiang, L; "Research on Application of Removable Non-Rescue Submerged Groins in Lower Yellow River Training Works"; Procedia Engineering 28 (2012), PP. 781 - 785.
- [۶] جراح زاده، ف.، شفاعی بجستان، م؛ "بررسی آزمایشگاهی وضعیت خط القعر تحت تأثیر وجود سرریز مستغرق در خم ۹۰ درجه تند"؛ پژوهش و سازندگی؛ پژوهش‌های آبخیزداری؛ شماره ۹۷، ۱۳۹۱، ص ۲۹-۱۸.

«Research Note»

Bed Topography Variations in a 90° Mild Bend Due to Triangle-Shaped Spur Dike

M. Bahrami Yarahmadi^{1*}, M. Shafai Bajestan²

1- PhD Student, College of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz.

2- Professor, College of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz.

m_bahrami_1085@yahoo.com

Abstract:

The erosion that occurs at the bends of rivers can damage the surrounding area during flood season and cause morphological changes in the river to some extent. Therefore, it engineers have become interested in developing measures that can control the scour process that occurs at bends in rivers. To control the outer bend of river from scour different structures such as spur dike, bendway weir and submerged vane can be used for modification of flow pattern. With interaction of these structures and water flow scour around structure occurs that is the main cause of their failures. It is assumed that the change of geometry and layout of structure can change bed topography for its stability and that is the purpose of the present study. Therefore, in this study a Triangle-shaped spur dike with different angles (23, 30, 40, 60 and 70 degrees) to the upstream direction under different hydraulic conditions (Froude numbers 0.194, 0.214, 0.233 and 0.253) was tested. For all experiments, The effective length (L_e) of each Spur Dike, i.e., the horizontal distance from the outer bank to the interface of the Spur Dike and the bed, was 33% of the width of the flume (23.3 cm) and single Triangle-shaped spur dike was installed outside bend of flume in 72° position which maximum scour depth is usually occurring. For all experiments, flow depth was kept constant equal to 13 cm. The thickness of the sediment in the bed of the flume was 20 cm, and the sediment was composed of natural, uniform sand (geometric standard deviation of 1.22) with an average size of 1.5 mm. At the end of each experiment bed topography was measured and from that the scouring zone, maximum scour depth and distance of scour hole was computed. The results showed that the overall scour hole is created in toe of the spur dike that is expanded to the upstream and downstream structure. Triangle-shaped spur dike with 23 and 60 degree installation was found to create the minimum and maximum scour depth as well as its distance from the outer bank respectively. The maximum scour depth for spur dike with angles of 23 and 60° was measured to be 0.127 and 0.496 of the spur dike effective length respectively. In addition, the maximum scour depth distance of above mentioned angles from the outer bank was respectively, 0.743 and 1.6 the effective length of structure. Eroded sediments were deposited downstream the spur dike and point bars are developed. By increasing of spur dike angle, the point bars are formed away from the outer bank and extended in flume width. For spur dike angles of 23 and 70° the point bar distance from the outer bank was equal to 0.228 and 0.365 effective length of the structure respectively.

Keywords: Triangle-shaped spur dike, 90° mild bend, scour and deposition.