

مقایسه‌ی الگوی آبشستگی و رسوبگذاری سازه‌های آبشکن و صفحات مثلثی شکل در قوس ملازم ۹۰ درجه تحت تاثیر اعداد فرود متفاوت

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

چکیده

آبشکن و صفحات مثلثی شکل از جمله سازه‌هایی می‌باشند که با انحراف جریان فرساینده از قوس بیرونی رودخانه به طرف مرکز آن، فرسایش ساحل بیرونی رودخانه را مهار کردن می‌کنند. در این مطالعه به بررسی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در اطراف سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل، و مقایسه‌ی آنها با یکدیگر در قوس ملازم ۹۰ درجه پرداخته شده است. لذا، در این تحقیق، صفحه‌ی مثلثی شکل و آبشکن بازا طول موثر یک پنجم عرض مجرا (۱۴ سانتیمتر) و تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت (اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳) مورد آزمایش قرار گرفتند. در همه‌ی آزمایشها تک صفحه‌ی مثلثی شکل با زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به ساحل بالادست، و آبشکن با زاویه‌ی ۹۰ درجه و در موقعیت بیشترین عمق آبشستگی قوس ۹۰ درجه‌ی ملازم، یعنی زاویه‌ی ۷۲ درجه نصب گردیدند. نتایج این تحقیق نشان دادند که، بطور متوسط، حداکثر عمق فرسایش صفحه‌ی مثلثی شکل و آبشکن به ترتیب ۰/۵۵ و ۱ برابر طول موثر سازه بوده، و متوسط فاصله‌ی حداکثر عمق فرسایش سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل از ساحل بیرونی به ترتیب ۱ و ۱/۴ برابر طول موثر سازه است. در ضمن، میانگین فاصله‌ی پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی برای سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۱ برابر طول موثر سازه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشکن، صفحه مثلثی شکل، قوس ملازم ۹۰ درجه، فرسایش و رسوبگذاری.

^۱ - دانش آموخته دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

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

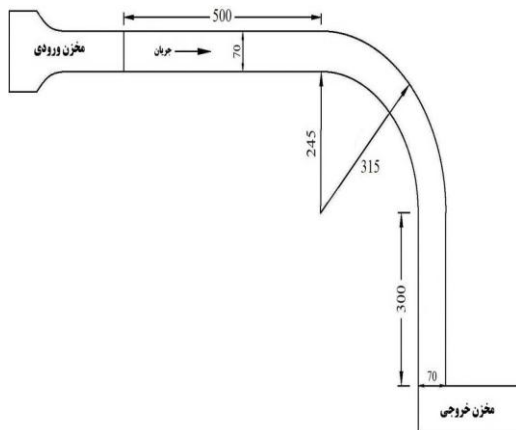
*- نویسنده مسوول مقاله: m_Bahrami_1085@Yahoo.com

مقدمه

جهت مهار کردن فرسایش در قوس بیرونی رودخانه، از سازه‌های اصلاح کننده الگوی جریان در قوسها استفاده می‌شود. آبشکنها از جمله سازه‌های اصلاح الگوی جریان در قوسها می‌باشند که محدوده‌ی حداکثر سرعت جریان را از ساحل بیرونی به طرف میانه‌ی مجرا دور کرده و باعث می‌شوند که جریانهای رو به پایین در منطقه‌ی دورتری از ساحل بیرونی به بستر رود برخورد کند، در نتیجه‌ی چاله فرسایشی از محل پنجه‌ی ساحل به منطقه‌ی دورتری از ساحل بیرونی انتقال می‌یابد. آبشکنها معمولاً عمود بر ساحل بیرونی (زاویه‌ی ۹۰ درجه نسبت به ساحل بالادست) رودخانه ساخته می‌شوند تا با انحراف بردارهای سرعت حداکثر از نزدیکی ساحل بیرونی به طرف میانه‌ی مجرا، باعث محافظت سواحل رودخانه شوند. اگر فاصله‌ی بین آبشکنها به درستی انتخاب شود با تشکیل گردابه افقی بین دو آبشکن متوالی، بار کف در محدوده‌ی بین آنها ته نشین گردیده و باعث ساحل سازی در قوس بیرونی رودخانه می‌شوند و این پدیده یکی از مهمترین مزایای آبشکنها می‌باشد. از جمله معایب آبشکنها آبشستگی پنجه‌ی آنهاست که گاهی گسترش آن باعث نزدیکی چاله‌ی آبشستگی به ساحل بیرونی و تخریب سازه و ساحل می‌گردد. از آن جمله می‌توان به آبشکنهای احداث شده بر روی زنجارود اشاره کرد. با توجه به موارد فوق مطالعات گسترده‌ای از دیرباز در خصوص تعیین معیارهای مناسب طراحی سازه‌ی مذکور به صورت آزمایشگاهی، میدانی و عددی انجام شده‌است. بیشترین تحقیقات بر تاثیر این سازه بر پستی و بلندی بستر و بخصوص آبشستگی اطراف پنجه آنها بوده است، چه مهمترین عامل تخریب این سازه‌ها گسترش پدیده‌ی مذکور بوده است. مطالعات آزمایشگاهی پرشماری در داخل و خارج کشور در مورد سازه‌ی آبشکن صورت گرفته که می‌توان به تحقیقات یاسی (۱۳۷۷)، صانعی و همکاران (۱۳۸۴)، واقفی و همکاران (۱۳۸۸)، عباس‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، موسوی و همکاران (۱۳۸۹) و واقفی و قدسیان (۱۳۸۹) در داخل کشور و به پژوهشهای ژیکانگ و همکاران (۲۰۰۸)، دوان (۲۰۰۹)، ژانگ و همکاران (۲۰۱۲)، یان و همکاران (۲۰۱۲) در خارج از کشور اشاره کرد.

یکی دیگر از سازه‌های اصلاح کننده الگوی جریان، صفحات مثلثی شکل می‌باشد. این سازه‌ها با زاویه‌ی کم نسبت به ساحل بالادست (۳۰-۲۰ درجه) نصب گردیده، و از تراز دشت سیلابی در ساحل تا بستر رودخانه شیبدارند، به گونه‌ای که نوک آنها حتی برای جریانهای کم مستغرق است. چنین شرایطی باعث منحرف کردن جریان از ساحل بیرونی به گونه‌ای که منطقه‌ی سرعت حداکثر و بیشترین تنش برشی بستر، به مرکز مجرا منتقل می‌گردد. از جمله مزایای این سازه حفاظت ساحل بیرونی رودخانه، ساحل سازی، توسعه‌ی رودخانه جهت قایق رانی، و توسعه‌ی زیستگاه ماهیها و دیگر آبزیان می‌باشد (شیلدرز ۱۹۸۳؛ هی ۱۹۹۲، ۱۹۹۴، ۱۹۹۶؛ راسگن ۲۰۰۶).

به رغم مزایای فراوان صفحات مثلثی شکل تحقیقات اندکی در رابطه با آنها صورت گرفته است. بویان و همکاران (۲۰۱۰) در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی صفحات مثلثی شکل (بصورت تکی و گروهی) جهت مهار کردن فرسایش سواحل پرداختند. آنها در آزمایشهای با تک صفحه، به مطالعه‌ی اثر ارتفاع سازه پرداخته و نتیجه گرفتند که به منظور عملکرد بهتر در حفاظت سواحل، ارتفاع صفحه در موقعیت ساحل بیرونی باید برابر عمق آب در بده لبریز باشد و ارتفاع لبه‌ی دیگر آن در بستر رود قرار گیرد (به شکل مثلث). در ضمن آنها آزمایشهایی را با چندین صفحه (به صورت گروهی) با زوایای ۲۰ و ۳۰ درجه نسبت به ساحل بالادست بازا طول موثر ثابت، معادل یک سوم عرض نهر پایه دار، انجام دادند. نتایج آزمایشها نشان دادند که وقتی یک و یا یک گروه از صفحات به ساحل بیرونی نصب می‌گردند، چاله‌ی فرسایشی در بستر ساحل بیرونی پر شده و خط القعر به طرف مرکز رودخانه انتقال می‌یابد که در این رابطه، زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به ۲۰ درجه عملکرد بهتری را داشت. صفحات یک سلول جریان ثانویه پادساعتگرد نزدیک ساحل بیرونی ایجاد می‌کنند که جریان حلزونی را در قوس خنثی می‌کند. بهرامی یاراحمدی و شفافی بجستان (۱۳۹۲، ۱۳۹۳) به بررسی اثر تغییرات زاویه و طول موثر تک صفحه‌ی مثلثی، بر الگوی فرسایش و رسوبگذاری در قوس ملایم نود درجه پرداخته و به این نتیجه رسیدند که زوایای ۲۳ و ۳۰ درجه نسبت به سایر



شکل ۱- پلان نهر پایه دار قوسی ۹۰ درجه مورد استفاده (در شکل فوق ابعاد بر حسب سانتیمتر می‌باشند).

در ورودی نهر پایه دار شیر کشویی ۶ اینچی جهت تنظیم بدهی ورودی و همچنین بده سنج فراصوت نمونه‌ی Digi Sonic E+ (با دقت $\pm 1\%$ میزان قرائت شده) به منظور قرائت بده ورودی به نهر پایه دار، قرار داشتند. در انتهای نهر پایه دار قوسی، دریچه‌ی کشویی جهت تنظیم عمق جریان قرار گرفته بود. برای انجام آزمایشها از بده‌های ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۶ لیتر بر ثانیه (اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳) با عمق ثابت ۱۳ سانتیمتر استفاده شد. در همه آزمایشهای این تحقیق، بالاترین تراز تاج صفحه مثلثی شکل (که چسبیده به ساحل بیرونی است) و تراز آب یکسان بودند ولی آبشکن مستطیلی همواره غیر مستغرق بوده است.

جهت مقایسه الگوی آبشستگی و رسوبگذاری سازه‌های آبشکن و صفحات مثلثی شکل، از تک سازه‌ای با طول موثر (فاصله‌ی نوک صفحه در بستر از ساحل بیرونی، که همان طول تصویر شده سازه می‌باشد) یک پنجم عرض نهر پایه دار (۱۴ سانتیمتر) استفاده شد. زوایای آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل نسبت به ساحل بالادست، به ترتیب ۹۰ و ۳۰ درجه انتخاب گردیدند. آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل از جنس پلکسی گلاس، و به ضخامت ۵ میلیمتر، ساخته شدند. در این تحقیق، آزمایشها در شرایط آب زلال و $U/U_c < 1$ (سرعت جریان ورودی به قوس و $U_c =$ سرعت بحرانی جریان برای حرکت رسوب در مسیر

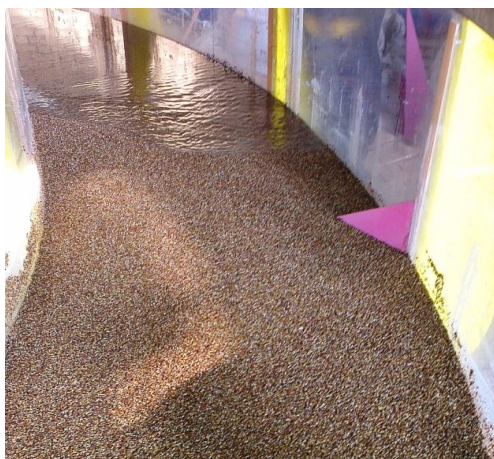
زوایا کمترین عمق و حجم آبشستگی را دارند. با کاهش طول موثر سازه، حداکثر عمق آبشستگی و حجم آبشستگی کاهش یافت، به گونه‌ای که طول موثر یک پنجم عرض مجرا دارای کمترین عمق و حجم فرسایش بود. رسوبات حاصل از فرسایش در پایین دست سازه و در پنجه‌ی ساحل بیرونی ترسیب ته نشین شدند، که این امر می‌تواند جهت ساحل سازی در قوس بیرونی رودخانه حائز اهمیت باشد. بهرامی یاراحمدی (۱۳۹۳-ب) آزمایشهایی را جهت تعیین فاصله مناسب بین صفحات مثلثی شکل در قوس ملایم ۹۰ درجه انجام دادند. نتایج نشان دادند که با افزایش فاصله‌ی بین صفحات، حداکثر عمق آبشستگی در پنجه‌ی سازه، و گسترش آن تا ساحل بیرونی ازدیاد یافت. بررسیها نشان دادند که فاصله‌ی ۵ برابر طول موثر سازه، فاصله‌ی مناسبی برای صفحات مثلثی شکل می‌باشد.

یکی از مشکلات احداث سازه‌های اصلاح الگوی جریان در قوس رودخانه‌ها، آبشستگی پنجه آنهاست که در صورت ازدیاد بیش از حد، باعث تخریب سازه و در نتیجه ناپایداری ساحل رودخانه خواهد شد. کاهش میزان آبشستگی در اطراف سازه‌های اصلاح الگوی جریان، همواره از دغدغه‌های محققین بوده است. در این مطالعه، به مقایسه‌ی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در اطراف سازه‌های آبشکن و صفحات مثلثی شکل در یک نهر پایه-دار قوسی ملایم ۹۰ درجه پرداخته شده است. در این تحقیق از تک آبشکن با زاویه‌ی ۹۰ درجه، و تک صفحه‌ی مثلثی با زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به ساحل بالادست، استفاده شده است.

مواد و روشها

آزمایشهای این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده‌ی مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و در یک نهر پایه دار شیشه‌ای قوسی ۹۰ درجه انجام گرفت. عرض نهر پایه دار و نسبت شعاع قوس به عرض (R/B) آن به ترتیب ۷۰ سانتیمتر و ۴ بود. در شکل ۱ نمایی از نهر پایه دار قوسی نشان داده شده است.

نظر اداره مهندسی ارتش آمریکا (USACE 1981)، و نیز آزمایش‌های اولیه بدون حضور سازه، محدوده‌ی فرسایش پذیر در قوس تعیین گردید. این محدوده با نتیجه تحقیقات عباس پور و همکاران (۱۳۸۹) و موسوی و قدسیان (۱۳۸۹) در قوس‌های ملایم ۹۰ درجه، که محدوده‌ی حداکثر آبشستگی را بین زاویه ۶۰ تا ۹۰ درجه گزارش کرده‌اند، همخوانی دارد؛ بنابراین، در مطالعه حاضر، هر کدام از سازه‌های مذکور در موقعیت ۷۲ درجه در قوس بیرونی ($\theta = 72^\circ$) نصب گردیدند. در شکل ۲ نحوه‌ی قرارگیری آبشکن مستطیلی و صفحه مثلثی شکل در نهر-پایه دار قوسی ۹۰ درجه قبل از شروع آزمایش، نشان داده شده است.



مستقیم بالادست آن) انجام شد. از آن جا که در این تحقیق هدف مقایسه تغییرات پستی و بلندی بستر در قوس ملایم ۹۰ درجه در اطراف آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل بازم آه شرایط هیدرولیکی متفاوت می‌باشد، بنابراین، زمان انجام هر آزمایش ۳ ساعت در نظر گرفته شد (جانسون و همکاران ۲۰۰۱، ۲۰۰۲).

ته نشین‌های بستر از ماسه‌ی طبیعی با اندازه‌ی میانگین (d_{50}) ۱/۵ میلیمتر و ضریب انحراف معیار $(\sigma = \sqrt{d_{84}/d_{16}})$ معادل ۱/۲۲ انتخاب، و به ضخامت حدود ۲۵ سانتیمتر روی بستر نهر پایه دار گسترده شد و با کاربرد ارابه‌ی مخصوصی متراکم و به دقت صاف می‌گردید. با در نظر گرفتن محدوده‌ی فرسایشی بر اساس



شکل ۲- نحوه قرارگیری آبشکن مستطیلی و صفحه مثلثی شکل در قوس ملایم ۹۰ درجه.

آرامی پایین آورده می‌شد، سپس شیر کشویی ورودی به نهر پایه دار مسدود می‌گردید. با گذشت زمان، جریان به صورت تدریجی بدون تغییر در پستی و بلندی ایجاد شده خارج و بستر نهر پایه دار زهکشی می‌شد. پس از پایان زهکشی بستر، پستی و بلندی بستر شکل گرفته با استفاده از متر لیزری (با دقت ۱ میلیمتر) برداشت می‌گردید.

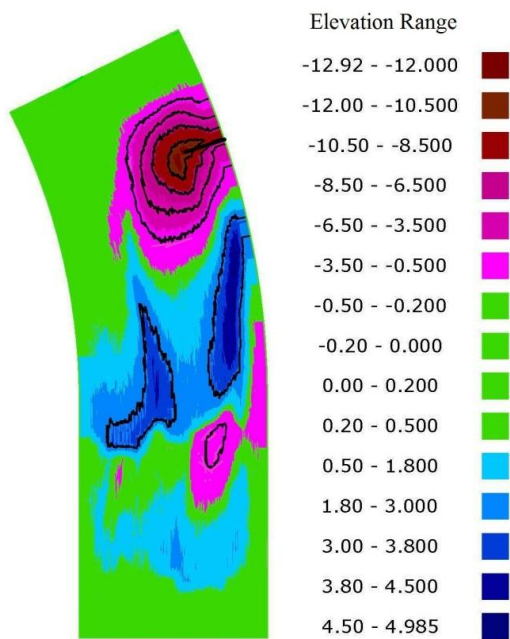
نتایج و بحث

الگوی فرسایش و رسوبگذاری پیرامون سازه‌ها

در شکل ۳ به عنوان نمونه، الگوی فرسایش و رسوبگذاری در اطراف سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل برای اعداد فرود ۰/۲۱۴ و ۰/۲۳۳ نشان داده شده است. پستی و بلندی بستر به کمک نرم افزار Civil3D

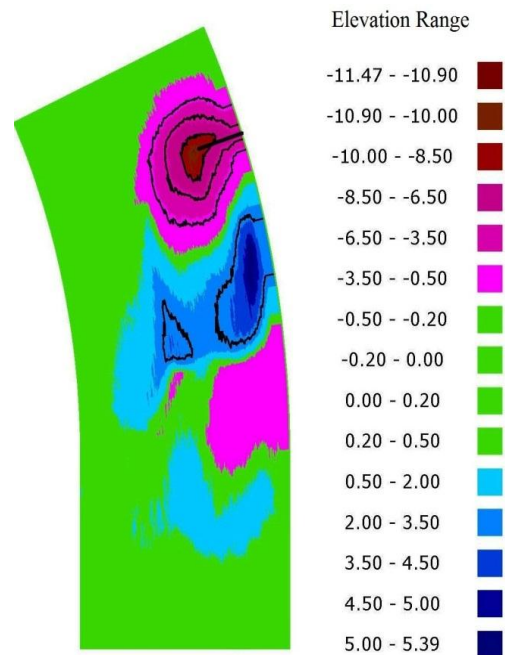
در ابتدای هر آزمایش، پس از اتصال سازه‌ی مورد نظر در موقعیت ۷۲ درجه نسبت به ابتدای قوس و در ساحل بیرونی، ته نشین‌های بستر نهر پایه دار با کاربرد، ارابه تسطیح کننده به دقت تسطیح می‌شد سپس در حالی که دریچه‌ی کشویی انتهای نهر پایه دار کاملاً بسته بود، با بازکردن شیر کشویی ۶ اینچی ورودی نهر پایه دار، جریان به آرامی، بدون آن تغییری در پستی و بلندی بستر ایجاد کند، وارد نهر پایه دار می‌شد. پس از بالا آمدن سطح آب، جریان به صورت تدریجی با باز کردن شیر کشویی، به بدهی مورد نظر افزایش می‌یافت. پس از تنظیم بده، عمق جریان به وسیله‌ی دریچه‌ی کشویی انتهای نهر پایه دار، در حد ۱۳ سانتیمتر تنظیم می‌گشت. بعد از اتمام هر آزمایش ابتدا دریچه‌ی کشویی انتهای نهر پایه دار به

محور سازه ایجاد می‌کند که باعث گسترش آبشستگی در بالادست محور سازه می‌شود. در دماغه‌ی آبشکن نیز، به علت انحراف جریان به سمت دیواره‌ی مقابل، جدایی جریان اتفاق افتاده و در دماغه گردابه‌ای افقی با محور قائم رخ می‌دهد که آبشستگی در پنجه‌ی آبشکن (دماغه) را تشدید می‌کند. در همه‌ی اعداد فرود، چاله‌ی فرسایشی در بالادست محور آبشکن تا ساحل بیرونی پیشروی کرد. چاله‌ی فرسایشی پایین دست محور سازه، فقط در عدد فرود ۰/۱۹۴ تا ساحل گسترش نیافت؛ بنابراین، آبشستگی در اطراف آبشکن به گونه‌ای است که بیشتر رسوبات پیرامون محور آبشکن (در بالادست و پایین دست محور) دچار فرسایش می‌شوند، و این امر از نظر پایداری و دوام سازه مناسب نمی‌باشد. ته نشینی حاصل از فرسایش، در پایین دست چاله‌ی فرسایشی صورت گرفت.

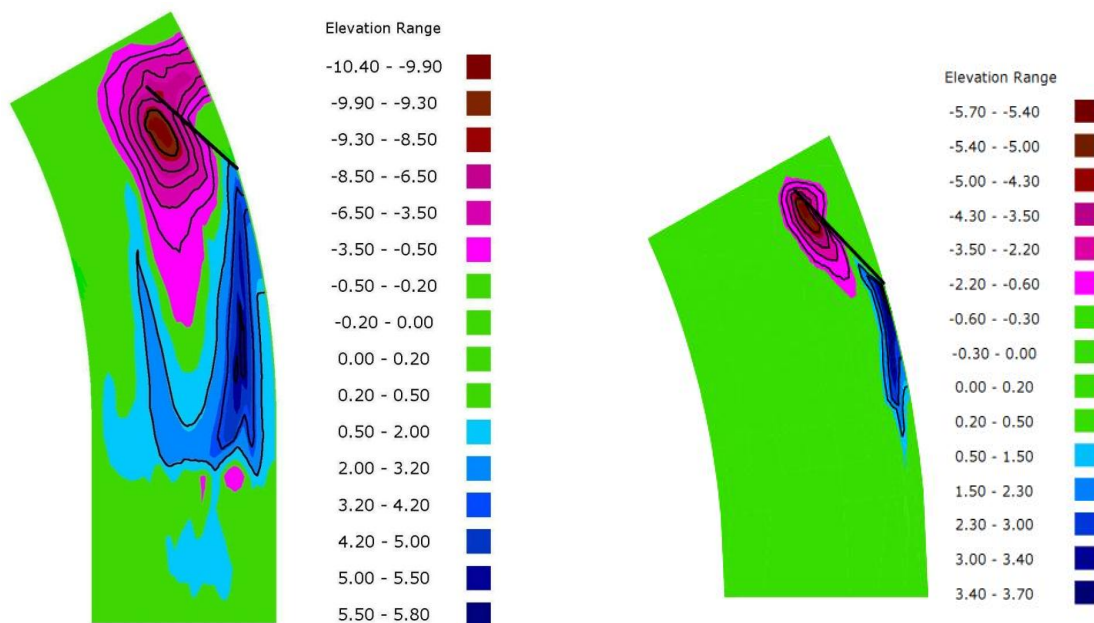


آبشکن - عدد فرود ۰/۲۳۳

ترسیم گردیده است. نتایج نشان دادند که در اطراف آبشکن و در بالادست و پایین دست محور آن، فرسایش تقریباً متقارنی رخ داد که مرکز آن در دماغه‌ی (پنجه) آبشکن بوده است. حجم و عمق آبشستگی در بالادست محور آبشکن بیش از پایین دست آن بود، به گونه‌ای که حداکثر عمق آبشستگی در همه آزمایشها در نزدیکی دماغه‌ی آبشکن و در بالادست محور آن رخ داد. در بالادست محور آبشکن در اثر شیب فشار، جریانهای پایین رونده تشکیل می‌شوند. جریانهای پایین رونده، گردابه‌های قائم را که محور آنها عمود بر مسیر جریان است ایجاد می‌کنند که باعث کنده شدن رسوبات از بستر می‌شوند. همزمان با گردابه‌های قائم نیز گردابه‌های افقی پادساعتگرد در بالادست محور آبشکن ایجاد می‌شوند. ترکیب این دو گردابه، گردابی نعل اسبی را در بالادست



آبشکن - عدد فرود ۰/۲۱۴



صفحه مثلثی - عدد فرود ۰/۲۳۳

صفحه مثلثی - عدد فرود ۰/۲۱۴

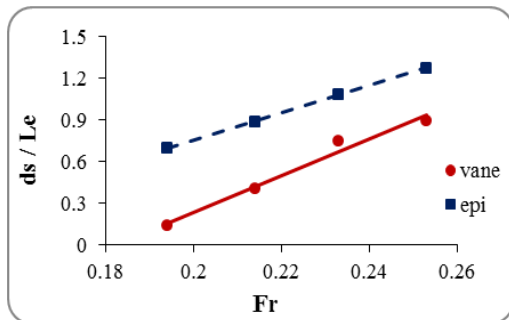
شکل ۳- تغییرات بستی و بلندی بستر در اطراف آبشکن و صفحه مثلثی شکل به ازای اعداد فرود ۰/۲۱۴ و ۰/۲۳۳

بیرونی جلوگیری می‌کرد. در اعداد فرود ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ چاله‌ی فرسایشی در بالادست محور صفحه تا ساحل بیرونی گسترش یافت، ولی این چاله به موازات محور صفحه نبود؛ بنابراین همه‌ی رسوبها جلو محور صفحه دچار فرسایش نشدند، لذا نسبت به سازه‌ی آبشکن از نظر پایداری وضعیت مناسبتری داشت. رسوبهای حاصل از فرسایش به وسیله‌ی جریان نزدیک بستر در راستای محور صفحه حمل شدند و در پایین دست صفحه، و در ساحل بیرونی ته نشین شدند. با افزایش عدد فرود، و در نتیجه ازدیاد فرسایش، رسوبهای بیشتری در پایین دست صفحه نهشته شده و ترسیب رسوبات هم در طول و در عرض مجرا گسترش یافت. گستردگی ترسیب در عرض مجرا، در سازه‌ی آبشکن بیش از صفحه مثلثی شکل بوده است. در سازه‌ی آبشکن و در پایین دست آن مواد ته نشین شده یافته، به علت اختلاف تراز بستر، و به وجود آمدن گردابه-های قائم با محور افقی، فرسایش در بستر رخ داده است که چاله فرسایشی آن در نزدیکی ساحل بیرونی تشکیل شده است. در صفحات مثلثی شکل، چاله‌ی فرسایشی پایین دست رسوبات ترسیب یافته، نسبت به آبشکن ناچیز بوده است.

در صفحات مثلثی شکل، برخلاف آبشکن، قسمت عمده‌ی چاله فرسایشی در پایین دست محور صفحه (طرف راست سازه به طرف ساحل داخل)، و به موازات ساحل بیرونی رخ داد. با افزایش عدد فرود، جریان به علت افزایش قدرت گردابه‌ها در اطراف سازه، چاله‌ی فرسایشی بزرگتر شد. مشاهدات آزمایشگاهی با تزریق مواد رنگی نشان دادند که جریان نزدیک شونده به صفحه‌ی مثلثی از روی تاج سازه به طرف مرکز نهر پایه دار منحرف می‌شد. جریان عبوری از روی تاج در پایین دست محور سازه به بستر برخورد می‌کرد و باعث کنده شدن رسوبات بستر گردید. اصابت جریان عبوری از روی تاج صفحه به بستر، و همچنین افزایش تنش برشی بستر (ناشی از تنگ شدن مجرای عبور جریان) سبب فرسایش پایین دست محور صفحه (طرف راست سازه بطرف ساحل داخل) شد. جریان عبوری از روی تاج یک جریان ثانویه پادساعتگرد (خلاف جهت چرخش جریان ثانویه اصلی قوس) در پایین دست محور سازه به وجود می‌آورد که باعث عدم انتقال موقعیت حداکثر سرعت به طرف ساحل بیرونی و عدم برخورد جریان ثانویه اصلی قوس (ساعتگرد) به ساحل بیرونی می‌شد و بدین طریق صفحه‌ی مثلثی شکل از فرسایش ساحل

تغییرات بیشترین ژرفای فرسایش

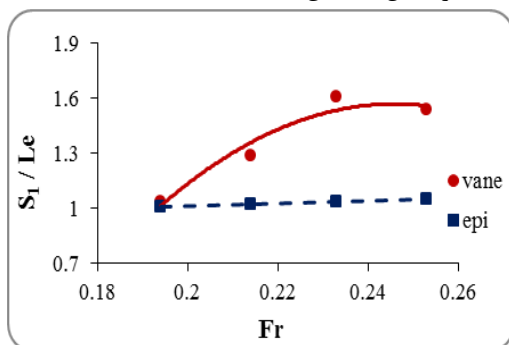
۳۱ و ۳۰ درصد نسبت به سازه‌ی آبشکن کاهش پیدا کرده است.



شکل ۴- نمودار بی‌بعد تغییرات حداکثر عمق فرسایش در مقابل عدد فرود.

موقعیت بیشترین ژرفای فرسایش

فاصله‌ی حداکثر عمق فرسایش از ساحل بیرونی معیاری برای دور شدن چاله‌ی فرسایشی از ساحل بیرونی و حفاظت آن از فرسایش می‌باشد. نمودار بی‌بعد تغییرات فاصله‌ی حداکثر عمق فرسایش از ساحل بیرونی برای سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل بازاا اعداد فرود مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است.

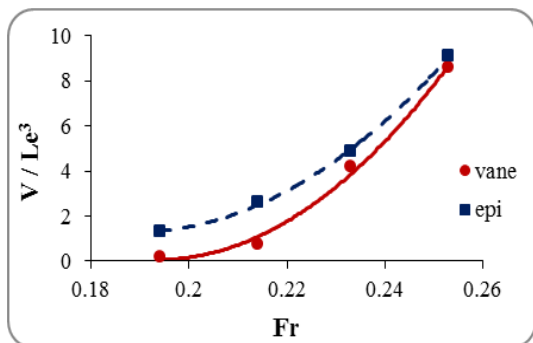


شکل ۵- نمودار بی‌بعد تغییرات فاصله حداکثر عمق فرسایش از ساحل بیرونی در مقابل عدد فرود.

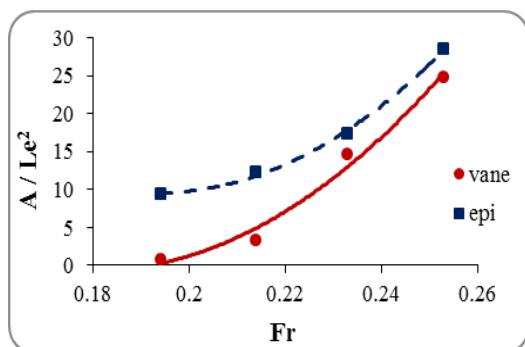
شکل ۵ نشان می‌دهد که فاصله‌ی بیشترین ژرفای فرسایش از ساحل بیرونی در صفحه‌ی مثلثی شکل بیش از آبشکن می‌باشد، که نشان دهنده‌ی ایمن بودن ساحل بیرونی از فرسایش اطراف سازه است. در هر دو سازه با افزایش عدد فرود، فاصله‌ی حداکثر عمق فرسایش از ساحل بیرونی از دیاد یافت به گونه‌ای که بیشترین فاصله برای هر دو سازه در عدد فرود ۰/۲۵۳ رخ داد، ولی روند دو نمودار با یکدیگر متفاوت است. روند نمودار برای سازه-ی آبشکن بسیار ملایم، ولی روند نمودار در صفحه مثلثی

فرسایش بیش از حد در اطراف سازه‌ها خطری جدی برای پایداری سازه به حساب می‌آید. حداکثر عمق و حجم فرسایش از جمله معیارهای شناخت و بررسی چاله‌ی فرسایشی در اطراف سازه‌ها می‌باشند که به وسیله‌ی بیشتر محققین مورد بررسی قرار می‌گیرند. در شکل ۴ نمودار بی‌بعد تغییرات حداکثر عمق فرسایش برای سازه-های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل بازاا اعداد فرود مختلف ترسیم شده است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد، در صفحات مثلثی شکل حداکثر عمق فرسایش نسبت به سازه‌ی آبشکن کمتر می‌باشد. در آبشکنهای غیر مستغرق، همه‌ی جریان نزدیک شونده به سازه در ساحل بیرونی، از جلوی دماغه‌ی سازه به طرف میانه‌ی مجرا منحرف می‌شود، و گردابه‌ای افقی با محور قائم در دماغه‌ی سازه تشکیل می‌گردد که باعث فرسایش در آن مکان خواهد شد. از طرف دیگر، بر اثر برخورد جریان به محور آبشکن در بالادست آن، جریانهای پایین رونده و گردابه‌های نعل اسبی در بالادست سازه تشکیل می‌شوند که باعث تشدید فرسایش در اطراف آبشکن می‌گردند. در صفحات مثلثی شکل، همه‌ی جریان نزدیک شونده به سازه در ساحل بیرونی، از جلوی دماغه‌ی سازه منحرف نمی‌شود، بلکه بخشی از آن از روی تاج سازه به طرف میانه‌ی مجرا منحرف می‌گردد. از طرف دیگر، به علت زاویه‌ی اندک سازه با ساحل بالادست، و همچنین مثلثی شکل بودن سازه، جریانهای پایین رونده و گردابه‌های نعل اسبی در بالادست صفحه تشکیل نمی‌شوند؛ بنابراین، میزان آبستگي و حداکثر عمق فرسایش در صفحات مثلثی شکل کمتر از آبشکنها می‌باشد. از دیگر نتایج شکل ۴ افزایش حداکثر عمق فرسایش در هر دو سازه، با ازدیاد عدد فرود جریان می‌باشد که به علت افزایش قدرت گردابه‌های فرساینده در اطراف سازه، و همچنین تنش برشی بستر است. روند تغییرات بیشترین ژرفای فرسایش در هر دو سازه تقریباً یکسان است. بطور متوسط، حداکثر عمق فرسایش صفحه‌ی مثلثی شکل و آبشکن به ترتیب ۰/۵۵ و ۱ برابر طول موثر سازه می‌باشد. در ضمن، بیشترین ژرفای فرسایش صفحه‌ی مثلثی شکل در اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ به ترتیب ۰/۵۴،

۱۳ و ۱۳ درصد نسبت به سازه آبشکن کاهش پیدا کرده است.



شکل ۶- نمودار بی بعد تغییرات حجم فرسایش در مقابل عدد فرود.



شکل ۷- نمودار بی بعد تغییرات سطح تخریب شده در مقابل عدد فرود.

پشته رسوبگذاری شده

در حالی که آبشستگی خطری جدی برای پایداری و ایمنی سازه، و در نتیجه ساحل رودخانه، محسوب می‌شود، پدیده‌ی رسوبگذاری در پایین دست سازه و در ساحل بیرونی رودخانه، راهکاری مناسب جهت تثبیت دیواره‌های رودخانه و نیز توسعه‌ی ساحل بیرونی خواهد بود. تحت تاثیر الگوی جریان‌ی که در اطراف سازه تشکیل می‌شود، بار بستر و نیز مواد حاصل از فرسایش در اطراف سازه، در پایین دست آن ترسیب می‌کنند. جهت تشخیص توانایی هر سازه در توسعه‌ی ساحل بیرونی، مقایسه‌ی فاصله‌ی پشته رسوبگذاری شده در پایین دست سازه‌ها از ساحل بیرونی مناسب می‌باشد. تغییر فراسنجهای هیدرولیکی جریان و هندسی سازه، بر ابعاد پشته رسوبی و موقعیت آن نسبت به سازه و ساحل بیرونی تاثیر گذار است.

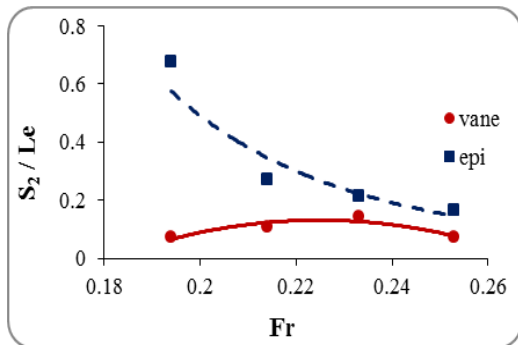
شکل شدید بود. بطور متوسط، فاصله‌ی حداکثر عمق فرسایش سازه‌های آبشکن و صفحه مثلثی شکل از ساحل بیرونی به ترتیب ۱ و ۱/۴ برابر طول موثر سازه بود.

در سازه‌ی آبشکن بیشترین ژرفای فرسایش در بالادست محور سازه، و در دماغه‌ی آن، و تقریباً به صورت چسبیده به محور سازه، رخ داد که از نظر پایداری سازه خطرناک می‌باشد. در صفحه‌ی مثلثی شکل و برای همه اعداد فرود، حداکثر عمق فرسایش در پایین دست محور سازه (طرف راست سازه به طرف ساحل داخل)، و با فاصله‌ی حدود ۱/۸ برابر طول موثر آن از موقعیت نصب سازه در ساحل بیرونی، اتفاق افتاده است.

تغییرات حجم فرسایش و سطح تخریب شده

در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب، تغییرات حجم رسوب فرسایش یافته و سطح تخریب شده (مساحت نمای بالای چاله آبشستگی) پیرامون سازه‌های آبشکن و صفحه مثلثی شکل بازاء اعداد فرود مختلف ترسیم شده اند. نتایج حاکی از آنند که، حجم و سطح چاله‌ی آبشستگی در اطراف سازه آبشکن بیش از صفحه مثلثی می‌باشد. روند نمودارها نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف در حجم رسوب فرسایش یافته و سطح تخریب شده، بازاء عدد فرود ۰/۱۹۴ رخ داده و با افزایش عدد فرود جریان، این اختلاف کاهش یافته، بطوری که کمترین اختلاف بازاء عدد فرود ۰/۲۵۳ ایجاد شده است. در هر دو نمودار، با افزایش عدد فرود جریان، به علت ازدیاد تنش برشی و قدرت گردابه‌های فرساینده در اطراف سازه‌ها، حجم رسوب فرسایش یافته و سطح تخریب شده افزایش یافت. بطور متوسط، حجم رسوب فرسایش یافته صفحه‌ی مثلثی شکل و آبشکن به ترتیب ۳/۵ و ۴/۵ برابر توان سوم طول موثر سازه (Le^3) بود. در ضمن حجم رسوب فرسایش یافته پیرامون صفحه‌ی مثلثی در اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ به ترتیب ۸۶، ۷۱، ۱۴ و ۶ درصد نسبت به سازه آبشکن کاهش پیدا کرده است. از طرفی، متوسط سطح تخریب شده اطراف صفحه‌ی مثلثی شکل و آبشکن به ترتیب ۱۱ و ۱۷ برابر توان دوم طول موثر سازه (Le^2) بود. در ضمن، سطح تخریب شده‌ی پیرامون صفحه‌ی مثلثی شکل در اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ به ترتیب ۸۲، ۹۵،

فاصله‌ی رسوبات نهشته شده از ساحل بیرونی و موقعیت نصب سازه، در آبشکن بیش از صفحه مثلثی شکل می‌باشد. علاوه بر این، با دقت در شکل ۸ ملاحظه می‌گردد که در هر دو سازه، با افزایش عدد فرود جریان فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی کاهش یافته است بطوریکه کمترین و بیشترین فاصله به ترتیب در اعداد فرود ۰/۲۵۳ و ۰/۱۹۴ اتفاق افتاده است. نمودارها نشان می‌دهند که در اعداد فرود پایین اختلاف آنها زیاد بوده، و با افزایش عدد فرود روند نمودارها یکسان شده و اختلاف آنها کمتر می‌گردد.



شکل ۸- نمودار بی‌بعد تغییرات حداقل فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی در مقابل عدد فرود.

تغییرات حداکثر ارتفاع رسوبات ترسیب یافته بازاء اعداد فرود مختلف برای سازه‌های آبشکن و صفحه مثلثی در شکل ۹ ارائه شده‌اند. با دقت در شکل ملاحظه می‌شود که، روند نمودارها برای هر دو سازه صعودی-نزولی است. در آبشکن، با افزایش عدد فرود جریان حداکثر ارتفاع رسوبات افزایش یافته و در عدد فرود ۰/۲۱۴ به بیشترین مقدار خود می‌رسد. بعد از عدد فرود ۰/۲۱۴، روند نمودار با ازدیاد عدد فرود جریان نزولی شده، حداکثر ارتفاع رسوبات کاهش یافته، و در عدد فرود ۰/۲۵۳ به کمترین مقدار خود می‌رسد. حداکثر ارتفاع رسوبات ته نشین شده پس از سازه آبشکن بازاء اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ به ترتیب ۰/۳۳۵، ۰/۳۸۴، ۰/۳۲۷ و ۰/۲۶۱ برابر طول موثر سازه (بطور متوسط ۰/۳۲۶ برابر طول موثر سازه) می‌باشد. در صفحه مثلثی شکل، با افزایش عدد فرود جریان حداکثر ارتفاع رسوبات افزایش یافته، و در عدد فرود ۰/۲۳۳ به بیشترین مقدار خود می‌رسد. پس از عدد فرود ۰/۲۳۳، روند نمودار با ازدیاد عدد

در صفحات مثلثی شکل، رسوبات حاصل از فرسایش در پنجه‌ی سازه و بار بستر، به وسیله‌ی جریان نزدیک بستر در راستای محور سازه به طرف ساحل بیرونی انتقال داده شده و در پنجه‌ی ساحل بیرونی، و پایین دست صفحه، تشکیل پشته رسوبی می‌دهند. در آبشکنها رسوبات ناشی از آبشستگی و بار بستر، به وسیله‌ی گرداب افقی پایین دست آبشکن و جریانهای نزدیک بستر در پایین دست آن نهشته می‌شوند.

در صفحه‌ی مثلثی شکل در همه‌ی اعداد فرود به غیر از عدد فرود ۰/۲۵۳، شروع رسوبگذاری از همان موقعیت نصب سازه ($\theta = 72^\circ$) و در ساحل بیرونی بود. در عدد فرود ۰/۲۵۳ شروع رسوبگذاری در فاصله‌ی حدود ۱ برابر طول موثر سازه (Le) در پایین دست موقعیت نصب سازه رخ داد. در سازه‌ی آبشکن شروع ته نشینی رسوبها، در پایین دست موقعیت نصب سازه بوده و با افزایش عدد فرود جریان، فاصله‌ی شروع رسوبگذاری از موقعیت نصب سازه افزایش یافت، به گونه‌ای که بازاء اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ فاصله‌ی شروع نهشته شدن رسوبات از موقعیت نصب سازه ($\theta = 72^\circ$) به ترتیب ۱، ۱/۴، ۱/۸ و برابر طول موثر سازه بوده است.

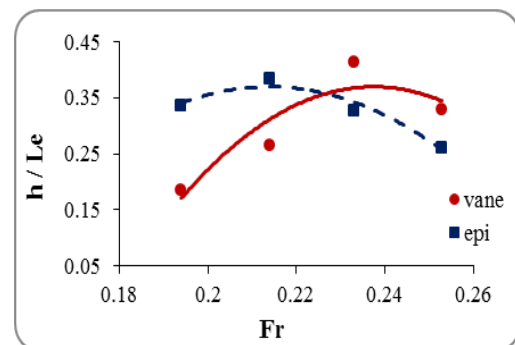
در شکل ۸ نمودار بی‌بعد تغییرات فاصله‌ی پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی بازاء اعداد فرود متفاوت برای سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل نشان شده است. نتایج نشان می‌دهند که، فاصله‌ی پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی در سازه آبشکن بیش از صفحه مثلثی شکل بوده است. بطور متوسط، فاصله‌ی پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی بازاء اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ برای سازه آبشکن بترتیب ۰/۷، ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۱۶ برابر طول موثر سازه و برای صفحه‌ی مثلثی شکل به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۱، ۰/۱۴ و ۰/۰۷ برابر طول موثر سازه می‌باشد. در صفحه‌ی مثلثی شکل رسوبات حاصل از فرسایش به وسیله‌ی جریان نزدیک بستر، که به موازات محور سازه می‌باشد، به ساحل بیرونی منتقل شده و در آن ترسیب می‌یابند، ولی در آبشکن جریان نزدیک بستر که رسوبها حاصل از فرسایش را با خود حمل می‌کند، به موازات محور سازه نبوده، و با فاصله‌ی نسبت به محور سازه وارد میدان آبشکن می‌شود؛ به همین علت،

فرسایش در بالادست محور سازه و دماغه آن دارای عمق و حجم بیشتری نسبت به پایین دست محور سازه بود. در صفحات مثلثی شکل، بیشتر آبشستگی در پایین دست محور صفحه و به موازات ساحل بیرونی اتفاق افتاد. نتایج نشان دادند که حداکثر عمق فرسایش، حجم و سطح فرسایش در اطراف سازه آبشکن بیش از صفحه مثلثی شکل بوده است. حداکثر عمق فرسایش صفحه مثلثی شکل در اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ به ترتیب ۸۰، ۵۴، ۳۱ و ۳۰ درصد (بطور متوسط ۴۹ درصد) نسبت به سازه‌ی آبشکن کاهش پیدا کرده است. حجم رسوب فرسایش یافته پیرامون صفحه‌ی مثلثی در اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ به ترتیب ۸۶، ۷۱، ۱۴ و ۶ درصد (بطور متوسط ۴۴ درصد) نسبت به سازه‌ی آبشکن کاهش یافته است. علاوه بر این، سطح تخریب شده اطراف صفحه مثلثی شکل در اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ به ترتیب ۹۵، ۸۲، ۱۳ و ۱۳ درصد (بطور متوسط ۵۱ درصد) نسبت به سازه‌ی آبشکن کاهش پیدا کرده است.

فاصله‌ی حداکثر عمق فرسایش از ساحل بیرونی در صفحه‌ی مثلثی شکل بیش از آبشکن بود که نشان دهنده‌ی ایمن بودن ساحل بیرونی از فرسایش پیرامون سازه می‌باشد. بطور متوسط فاصله‌ی بیشترین ژرفای فرسایش سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل از ساحل بیرونی به ترتیب ۱ و ۱/۴ برابر طول موثر سازه بود.

در صفحه‌ی مثلثی شکل و آبشکن جریان نزدیک بستر، رسوبهای حاصل از فرسایش را به پایین دست و ساحل بیرونی منتقل کرد با این تفاوت که در صفحه‌ی مثلثی شکل جریان نزدیک بستر در راستای محور صفحه بود، ولی در آبشکن جریان نزدیک بستر به موازات محور سازه نبود و با فاصله‌ی از آن وارد میدان آبشکن در پایین دست آن شده است؛ بنابراین، فاصله‌ی پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی و موقعیت نصب سازه، در آبشکن بیش از صفحه مثلثی شکل بوده است بگونه‌ای که متوسط فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی بازا اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ برای سازه آبشکن به ترتیب ۰/۷، ۰/۳، ۰/۲ و ۰/۱۶ برابر طول موثر سازه، و برای صفحه‌ی مثلثی شکل به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۱، ۰/۱۴ و

فرود جریان نزولی می‌شود و حداکثر ارتفاع رسوبات کاهش می‌یابد. حداکثر ارتفاع رسوبات ترسیب یافته پس از سازه صفحه مثلثی شکل بازا اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ به ترتیب ۰/۱۸۵، ۰/۲۶۴، ۰/۴۱۴ و ۰/۳۳۵ برابر طول موثر سازه (بطور متوسط ۰/۳ برابر طول موثر سازه) می‌باشد. با افزایش عدد فرود جریان، قدرت گردابه‌ها و قدرت حمل رسوب افزایش می‌یابد؛ در نتیجه، فرسایش بیشتر می‌شود؛ بنابراین، ارتفاع رسوبات ترسیب یافته افزایش می‌یابد. با افزایش عدد فرود جریان، رسوبها با سرعت بیشتری به طرف پایین دست حرکت کرده و به انتهای قوس، و ابتدای مسیر مستقیم پایین دست آن نزدیک می‌شوند. در انتهای قوس و مسیر مستقیم پایین دست آن اختلاف بین عمقهای جریان در قوسهای داخلی و خارجی، که در مسیرهای قوسی به وجود می‌آید، از بین می‌رود در نتیجه حرکت رسوبات یکنواختتر خواهد بود بنابراین، حرکت آنها در این مسیر از انباشت و افزایش ارتفاع پشته رسوبی جلوگیری می‌شود. در نتیجه در هر دو سازه، با افزایش عدد فرود جریان حداکثر ارتفاع رسوبات افزایش می‌یابد ولی از یک عدد فرودی به بعد، با ازدیاد عدد فرود جریان به علت نزدیک شدن رسوبات به انتهای قوس حداکثر ارتفاع کاهش می‌یابد.



شکل ۹- نمودار بی بعد تغییرات حداکثر ارتفاع رسوبات ترسیب یافته در مقابل عدد فرود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق آزمایشگاهی، الگوی فرسایش و رسوبگذاری در اطراف سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل در نهر پایه دار قوسی ملایم ۹۰ درجه بررسی شد. در بالا و پایین دست محور آبشکن، آبشستگی رخ داد که

و مهندسی. دانشگاه فردوسی مشهد (پذیرفته شده برای چاپ).

۲. بهرامی یاراحمدی، م. م. شفافی بجستان، ۱۳۹۳-الف. تغییرات پستی و بلندی بستر در قوس ملایم ۹۰ درجه با نصب آبشکن مثلثی شکل. مجله علمی پژوهشی عمران مدرس. دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست. دانشگاه تربیت مدرس تهران (پذیرفته شده برای چاپ).

۳. بهرامی یاراحمدی، م. م. ۱۳۹۳-ب. بررسی آزمایشگاهی ترکیب صفحات متصل به ساحل و تیغه افقی بر تغییرات پستی و بلندی بستر در قوس ۹۰ درجه. پایان نامه دکتری. دانشکده مهندسی علوم آب. گروه سازه‌های آبی. دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴. صانعی، م. م. ع. بنی هاشمی، ح. قربان خانی، ۱۳۸۴. بررسی آزمایشگاهی اثر تنگ شدگی و زاویه در کاهش آب شستگی اولین آبشکن. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشکده مهندسی دانشگاه شهید باهنر کرمان. ص ص ۱۰۸۹-۱۰۹۷.

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

۶. موسوی، ب. م. صانعی، ع. سلاجقه، و ب. معتمد وزیری، ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تأثیر موقعیت آبشکن در کاهش فرسایش کناره‌ای رودخانه. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تربیت مدرس.

۷. موسوی، ک. م. قدسیان، ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تأثیر انحنای نسبی کانال بر آبشستگی بستر در خم ۹۰ درجه. مجله علمی پژوهشی عمران مدرس. (۲)۱۰: ۱۴۴-۱۳۵.

۸. واقفی، م. م. قدسیان، صالحی، ع. و ا. نیشابوری، ۱۳۸۸. بررسی تغییرات زمانی آبشستگی اطراف آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه. دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. مجله پژوهشهای حفاظت آب و خاک. (۱)۱۶: ۱۰۵-۷۹.

۹. واقفی، م. م. قدسیان، ۱۳۸۹. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر استقرار آبشکن T شکل بر پستی و بلندی پائین

۰/۰۷ برابر طول موثر سازه بود. علاوه بر آن نتایج نشان دادند که، روند تغییرات حداکثر ارتفاع رسوبات ترسیب یافته بازا اعداد فرود مختلف برای سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل به صورت صعودی- نزولی است، بطوری که حداکثر ارتفاع رسوبات در سازه‌های آبشکن و صفحه‌ی مثلثی شکل به ترتیب در اعداد فرود ۰/۲۱۴ و ۰/۲۳۳ دارای بیشترین مقدار بودند. حداکثر ارتفاع مواد ترسیب یافته بازا اعداد فرود ۰/۱۹۴، ۰/۲۱۴، ۰/۲۳۳ و ۰/۲۵۳ در سازه‌ی آبشکن به ترتیب ۰/۳۳۵، ۰/۳۸۴، ۰/۳۲۷ و ۰/۲۶۱ برابر طول موثر سازه، و در سازه‌ی صفحه مثلثی شکل به ترتیب ۰/۱۸۵، ۰/۲۶۴، ۰/۴۱۴ و ۰/۳۳۵ برابر طول موثر سازه می‌باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی از محل پژوهانه‌ی نویسنده دوم انجام شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌شود.

علائم و نشانه‌ها

A = سطح تخریب شده

B = عرض مجرا

ds = حداکثر عمق فرسایش

d_{50} = اندازه‌ی متوسط مصالح بستر

Fr = عدد فرود جریان

h = حداکثر ارتفاع رسوبات ته نشین شده

Le = طول موثر سازه

R = شعاع مرکزی قوس

S_1 = فاصله‌ی حداکثر عمق فرسایش از ساحل بیرونی

S_2 = حداقل فاصله پشته رسوبگذاری شده از ساحل بیرونی

بیرونی

V = حجم رسوب فرسایش یافته

θ = زاویه‌ی موقعیت قرارگیری سازه در قوس

σ = ضریب انحراف معیار رسوبات

منابع

۱. بهرامی یاراحمدی، م. م. شفافی بجستان، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات طول موثر صفحات مثلثی شکل بر الگوی فرسایش و رسوبگذاری در قوس ملایم ۹۰ درجه. نشریه مهندسی عمران فردوسی. دانشکده فنی

- 772-778.
17. Johnson, P. A. R. D. Hey, E. R. Brown, and D. L. Rosgen, 2002. Stream restoration in the vicinity of bridges. *J. the Am. Water Resour. Assoc.* 38. P: 55- 67.
 18. Rosgen, D. L. 2006. The cross vane, W-weir and J-hook structures: Description, design and application for stream stabilization and river restoration. *Wildland Hydrol. Inc.* 11210 N. County Road 19 Ft. Collins, Colorado.
 19. Shields, F. D. 1983. Design of habitat structures for open channels. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 109. P:331-344.
 20. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), 1981. Roughans Point Revere, Massachusetts Coastal Flood Protection Study. USACE Water Resources Investigation. 50 p.
 21. Yun, L. W. Baomin, and L. Yongqiang, 2012. Research on application of removable non-rescue submerged groins in Lower Yellow River training works. *Procedia Eng.* 28: 781-785.
 22. Zhang, H. H. Nakagawa, and H. Mizutani, 2012. Bed morphology and grain size characteristics around a spur dyke. *Int. J. Sedi. Res.* 27:141-157.
 23. Zhicong, C. H. Pengfei, and D. Xiang, 2008. Turbulence intensity measurement in the backflow region around a spur dike. *J. Tsinghua Univ. (Sci&Tech).*12: 2053-2056.
 - دست بستر قوس ۹۰ درجه. نشریه مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۲(۱): ۱۲۸-۱۱۳.
 ۱۰. یاسی، م. ۱۳۷۷. مطالعه خصوصیات جریان و پستی و بلندی بستر اطراف آبشکن. پنجمین سمینار مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز. صص ۲۱۶-۲۰۵.
 11. Bhuiyan, F. R. D, Hey, P. R, Wormleaton, 2010. Bank-attached vanes for bank erosion control and restoration of river meanders. *J. Hydraul. Eng.* 136: 583-596.
 12. Duan, J. G. 2009. Mean Flow and turbulence around a laboratory spur dike. *J. Hydraul. Eng.* 135: p 803-811.
 13. Hey, R. D. 1992. River mechanics and habitat creation. *Fisheries in the year 2000.* K. T. O'Gardy, A. J. B. Butterworth, R. P. Spillett, J. C. J. Domaniewski (eds.), *Inst. of Fish. Manag. Nottingham, U.K.*
 14. Hey, R. D. 1994. Restoration of gravel bed rivers: Principles and practice. in natural channel design: Perspective and practice p.157-173. In D. Shrubsole, (ed.), *Can. Water Resour. Assoc. Cambridge, Ont., Canada.*
 15. Hey, R. D. 1996. Environmentally sensitive river engineering. *River restoration* 80-105. G. Petts and P. Calow, (eds.), *Blackwell Science, Oxford, U.K.*
 16. Johnson, P. A. R. D. Hey, M. Tessier, and D. L. Rosgen, 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. *J. Hydraul. Eng.* 127.p: