

تأثیر ترکیب تیغه افقی و سرریزهای مثلثی شکل بر تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ملایم ۹۰ درجه

محمد بهرامی یاراحمدی^{۱*}، محمود شفاعی بجزستان^۲ و سید حبیب موسوی جهرمی^۳

^{۱*} - نویسنده مسئول، دانش آموخته دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

m_bahrami_1085@yahoo.com

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

^۳ - استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۷

چکیده

سرریزهای مثلثی (صفحات مثلثی) و تیغه افقی از جمله سازه‌هایی هستند که باعث کنترل فرسایش در قوس بیرونی و دور شدن چاله فرسایشی از قوس بیرونی رودخانه می‌گردند. در این مطالعه هدف بررسی تأثیر استفاده از تیغه افقی در بین سرریزهای مثلثی بر کنترل و کاهش فرسایش در ساحل بیرونی و پنجه سرریزها تحت شرایط مختلف جریان (اعداد فرود ۰/۲۹۲، ۰/۲۶۲، ۰/۲۴۳ و ۰/۳۲۱)، می‌باشد. در آزمایش‌های این تحقیق، زاویه سرریزها نسبت به ساحل بالادست ۳۰ درجه و فاصله آنها از یکدیگر هشت برابر طول مؤثر سرریز بوده است. عرض تیغه افقی و طول مؤثر سرریزهای مثلثی یک پنجم عرض مجرا انتخاب گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از تیغه افقی در بین سرریزهای مثلثی باعث کاهش حداکثر عمق آبشستگی در پنجه سرریزها و مانع از گسترش آن تا ساحل بیرونی شده است. به طور متوسط استفاده از تیغه افقی ۷۰ درصد حداکثر عمق آبشستگی را در پنجه سرریزها کاهش داده است. علاوه بر این استفاده از تیغه افقی در بین سرریزهای مثلثی تأثیر اندکی بر هدایت جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا داشته است به طوری که استفاده از تیغه افقی در سرریزها نه درصد حداکثر عمق آبشستگی کانال فرسایشی را افزایش داده است و تغییری در فاصله خط القعر کانال فرسایشی از ساحل بیرونی ایجاد نکرده است.

کلید واژه‌ها: تیغه افقی، سرریز مثلثی، صفحات مثلثی، فرسایش سواحل، قوس رودخانه.

The Effect of Combination of Footing and Triangular Weirs on Bed Topography in a 90° Mild Bend

M. Bahrami Yarahmadi^{1*}, M. Shafai Bejestan² and S. H. Mousavi Jahromi³

^{1*} - Former Ph.D. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz.

² - Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz.

³ - Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz.

Received: 27 January 2014

Accepted: 24 May 2014

Abstract

Triangular weirs (Triangular vanes) and footing are measures which causes to control the scour in outer bend and keep out scouring hole from the outer bend. In this study, the main purpose is to experimentally study the effect of using both footing and triangular weirs on sedimentation and erosion of a bed of flume bend under different flow conditions (Froude numbers 0.243, 0.262, 0.292 and 0.321). Tests were conducted using triangular weirs with distance of 8 times of the effective length installed at an angle of 30 degree from the upstream bank. Footing width and effective length of triangular weirs were selected one-fifth the width of the canal. The results showed that using footing combined with the triangular weirs caused to reduce maximum scour depth at the toe of weirs and prevent from its extension to outer bend. Using footing reduced 70 percent maximum scour depth at the toe of weirs. Moreover using footing combined with triangular weirs had a little effect on flow diversion from outer bank towards the center of flume.

The results show that using footing along with triangular weirs increased 9 percent maximum scour depth of thalweg and did not change the thalweg distance from the outer bank.

Keywords: Footing, Triangular weir, Triangular vanes, Banks erosion, River bend.

از تیغه افقی در قوس بیرونی رودخانه برای کنترل فرسایش نشان داد که، استفاده از تیغه افقی باعث دور شدن چاله فرسایشی از ساحل بیرونی و نیز کاهش حداکثر عمق چاله فرسایشی (در حدود ۴۰ درصد) خواهد شد. علاوه بر این تحقیقاتی در زمینه کاهش حداکثر عمق آبشستگی در مجاورت پایه پل‌ها و تکیه‌گاه جانبی پل‌ها (و در نتیجه کاهش عمق پی و بهینه کردن آنها) با استفاده از تیغه افقی (طوقه) در داخل و خارج صورت گرفته است که در این زمینه می‌توان به تحقیقات کومار و همکاران^۳ (۱۹۹۹)، بروسرز و رادکیوی^۴ (۱۹۹۱)، سینگ و همکاران^۵ (۲۰۰۱)، زراتی و همکاران (۲۰۰۴)، خزیمه نژاد و قمشی (۲۰۱۳) اشاره کرد. تحقیقات سینگ و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد که استفاده از طوقه‌ای با عرض دو برابر قطر پایه که در تراز ۰/۱ قطر پایه زیر بستر کارگذاری شد، حداکثر عمق فرسایش را ۹۱ درصد کاهش داد. خزیمه نژاد و قمشی (۲۰۱۳) به مطالعه بر روی تیغه‌های صاف و زبر در کاهش حداکثر عمق آبشستگی در تکیه‌گاه جانبی پل‌ها پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که استفاده از طوقه‌های زبر در ترازهای بالاتر از بستر عملکرد بهتری نسبت به طوقه‌های صاف دارد ولی در ترازهای روی بستر و زیر بستر عملکرد طوقه‌های صاف و زبر تفاوت چندانی ندارد.

اکنون سوال این مطالعه این است که ترکیب سرریز مثلثی و تیغه افقی تا چه اندازه باعث کاهش حداکثر عمق آبشستگی اطراف سرریز مثلثی و دور شدن چاله فرسایشی از قوس بیرونی خواهد شد؟ فرض بر این است که استفاده از تیغه افقی در بین سرریزهای مثلثی نصب شده در قوس بیرونی، علاوه بر افزایش راندمان حفاظت ساحل بیرونی، باعث کنترل و کاهش فرسایش در پنجه سرریزهای مثلثی و مانع گسترش آن به ساحل بیرونی می‌شود بنابراین می‌توان تعداد سرریزهای مثلثی را در حفاظت از ساحل بیرونی کاهش داد بدون اینکه ایمنی و پایداری سرریزهای مثلثی و ساحل بیرونی به خطر بیفتد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک فلوم قوسی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. عرض فلوم ۷۰ سانتی‌متر و شعاع بیرونی و درونی قوس به ترتیب ۳/۱۵ و ۲/۴۵ متر بوده است. با توجه به اینکه نسبت شعاع قوس به عرض فلوم چهار بوده بنابراین این قوس در گروه قوس‌های ملایم قرار دارد. طول کانال مستقیم

مقدمه

جریان‌های ثانویه حلزونی شکل، که با ورود جریان به قوس‌های رودخانه تشکیل می‌شوند، با ایجاد فرسایش در پاشنه ساحل خارجی باعث گود شدن بستر و تخریب ساحل خارجی می‌شوند و رسوبات حاصل از آن توسط جریان‌های ثانویه حلزونی شکل به ساحل داخلی منتقل می‌شوند. به منظور حفاظت ساحل خارجی قوس‌ها از فرسایش، می‌توان از روش‌های مستقیم و غیر مستقیم استفاده کرد. در روش‌های مستقیم با استفاده از ریپ‌رپ، گابیون، لحاف بتونی، دیوار حائل بتونی و غیره، ساحل خارجی را در مقابل فرسایش مقاوم می‌کنند. در روش‌های غیر مستقیم با استفاده از سازه‌های (سازه‌های اصلاح الگوی جریان) مانند آبشکن، صفحات مستغرق، سرریز مستغرق، سرریز مثلثی (صفحات مثلثی)، جریان حلزونی مخرب را از قوس بیرونی به طرف مرکز مجرا جا به جا کرده و بدین طریق از ایجاد آبشستگی در محل پاشنه ساحل خارجی قوس جلوگیری می‌کنند. متأسفانه سازه‌های اصلاح الگوی جریان، خود به صورت مانعی در مقابل جریان اصلی هستند که منجر به تشکیل الگوهای پیچیده و مخرب جریان در دماغه آنها و در نتیجه آبشستگی در پنجه سازه‌های مذکور می‌شود. استفاده از سازه‌های اصلاح کننده الگوی جریان مستلزم تعیین درست حداکثر عمق آبشستگی در پنجه آنها به ازای سیل طراحی می‌باشد. اگر ارتفاع سازه‌های مذکور کمتر از حداکثر عمق آبشستگی باشد منجر به تخریب این سازه‌ها در قوس بیرونی و نتیجتاً فرسایش و تخریب ساحل خارجی خواهد شد که در این خصوص می‌توان به آبشکن‌های رودخانه زنجانورد اشاره کرد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۳). مسلماً اکثر تحقیقات امروزه، در رابطه با معرفی سازه‌های اصلاح الگوی جریانی است که باعث دورتر شدن چاله فرسایشی از ساحل خارجی شوند و ضمناً دارای عمق آبشستگی کمتری در محل پنجه سازه باشند. سرریزهای مثلثی شکل از جمله این سازه‌هاست که با زاویه کم (۳۰-۲۰ درجه) نسبت به ساحل بالادست و به صورت شیبدار از ساحل تا بستر رودخانه (به گونه‌ای که حتی در جریان‌های کم مستغرق می‌باشند) احداث می‌شوند. تحقیقات اخیر انجام شده توسط بهرامی یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۲ الف و ب) نشان داد که استفاده از سرریز مثلثی به جای آبشکن مستطیلی باعث کاهش ۵۰ درصد حداکثر عمق آبشستگی در پنجه سازه خواهد شد. در ضمن سرریز مثلثی علاوه بر جا به جایی خط القعر به سمت مرکز رودخانه، موجب رسوب‌گذاری در ساحل خارجی نیز شده است. از طرفی، تحقیقات روکا^۱ (۲۰۰۳)، روکا و همکاران^۲ (۲۰۰۷) و ۲۰۰۹) و همچنین رضایا و همکاران (۱۳۸۸) در خصوص استفاده

3- Kumar *et al.*

4- Breusers and Raudkivi

5- Singh *et al.*

1- Roca

2- Roca *et al.*

بستر، توپوگرافی بستر شکل گرفته با استفاده از دستگاه سنجش توپوگرافی بستر^۳ برداشت می‌شد. این دستگاه مجهز به یک سنسور لیزری، با دقت ۰/۴ میلی‌متر، برای برداشت توپوگرافی بستر بود. حرکت سنسور لیزری دستگاه در تمامی مقاطع عمود بر مقطع طولی فلوم بوده است. سنسور پس از قرائت توپوگرافی بستر، اطلاعات خروجی را به کامپیوتر دستگاه ارسال کرده و اطلاعات را در فایل‌های اکسل و متنی ذخیره می‌کرد.

نتایج و بحث

الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری

در این تحقیق، با استفاده از نرم افزار Civil3D توپوگرافی بستر برداشت شده به وسیله دستگاه سنجش توپوگرافی بستر، ترسیم گردید. در شکل (۲) نمونه‌ای از تغییرات توپوگرافی بستر را به ازای اعداد فرود ۰/۲۹۲ و ۰/۳۲۱، برای سرریزها ارائه شده است.

با دقت در شکل (۲) ملاحظه می‌شود که در اطراف پنجه سرریزها آبشستگی رخ داده است و با افزایش عدد فرود مقدار آبشستگی افزایش یافته است. در عدد فرود ۰/۲۹۲ آبشستگی در پنجه سازه‌های پنج و شش تا ساحل خارجی گسترش یافته است. در عدد فرود ۰/۳۲۱ آبشستگی در پنجه سازه‌های دو، چهار، پنج و شش تا ساحل خارجی گسترش پیدا کرده است. آبشستگی بیش از حد در پنجه سرریزها و گسترش آن تا ساحل خارجی علاوه بر اینکه برای سازه از نظر پایداری خطرناک می‌باشد، باعث تخریب ساحل خارجی نیز می‌شود. فاصله بیش از حد سرریزها از یکدیگر باعث شده که الگوی جریان و آبشستگی و رسوب‌گذاری در اطراف سرریزها همانند تک سازه شده و تأثیر سازه‌های سری بر یکدیگر از بین رود، بنابراین فاصله بین سرریزها که برابر با هشت برابر طول مؤثر اولیه سازه می‌باشد (8Le)، زیاد بوده است. رسوبات حاصل از فرسایش در پنجه سرریزها در ساحل خارجی ترسیب پیدا کرده و تشکیل ساحل مجازی داده‌اند و این یک مزیت مهم برای این سازه‌ها بشمار می‌رود. مشاهدات بصری (با تزریق ماده رنگی و استفاده از یونولیت) نشان داد که سرریزهای مثلثی شکل باعث انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی شده‌اند که این مزیت در عمل باعث کنترل فرسایش در قوس بیرونی و همچنین افزایش قابلیت قایق‌رانی در قوس می‌شود. انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا باعث آبشستگی در بستر مجرا، در مرکز و نزدیکی قوس داخلی شده است. با دور شدن از ابتدای قوس این آبشستگی به طرف مرکز و ساحل داخلی نزدیک شد و باعث فرسایش آن گردید. یکی از اهداف مهم در مبحث ساماندهی رودخانه در قوس‌ها، علاوه بر کنترل فرسایش در قوس بیرونی، تخریب و فرسایش ساحل داخلی و جلوگیری از جا به جایی عرضی رودخانه و بازگرداندن قوس به

در بالادست قوس ۵ متر و در پائین دست قوس ۳ متر بود. در ورودی فلوم شیر فلکه‌ای برای تنظیم دبی ورودی به فلوم قرار داشت و به وسیله آن میزان دبی ورودی به فلوم کنترل می‌شد. میزان دبی ورودی توسط دبی سنج آلتراسونیک با دقت ± 1 درصد میزان قرائت شده، اندازه‌گیری می‌گردید. برای تنظیم عمق جریان، دریچه کشویی انتهای فلوم مورد استفاده قرار می‌گرفت. در بستر فلوم رسوباتی با قطر متوسط (d_{50}) ۱/۵ میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد $(\sigma = \sqrt{d_{84}/d_{16}})$ معادل ۱/۲۲ به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر قرار داشت که برای تسطیح و تراکم آنها از ارابه مخصوصی که در طول فلوم حرکت می‌کرد استفاده می‌شد.

سرریزهای مثلثی و تیغه افقی از جنس پلکسی گلاس و به ضخامت ۵ میلی‌متر بوده‌اند. طول مؤثر (فاصله نوک سرریز در بستر از ساحل بیرونی، که همان طول تصویر شده سرریز می‌باشد) اولیه سرریزها قبل از فرسایش، یک پنجم عرض مجرا که معادل ۱۴ سانتی‌متر می‌باشد، بوده است (Le=14 cm). عرض تیغه افقی نیز همانند طول مؤثر اولیه سرریزها یک پنجم عرض مجرا که معادل ۱۴ سانتی‌متر است انتخاب گردید. تیغه افقی، در قوس بیرونی و به صورت افقی و در فضای بین سرریزها نصب شد. فاصله بین سرریزها در همه آزمایش‌ها (با تیغه افقی و بدون آن) هشت برابر طول مؤثر اولیه سازه (8Le) انتخاب شد. در همه آزمایش‌ها زاویه سرریزها نسبت به ساحل بالادست ۳۰ درجه بوده است.

در این مطالعه چون هدف مقایسه تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه مالیم بوده، بنابراین زمان انجام هر آزمایش ۳ ساعت در نظر گرفته شد (جانسون و همکاران^۱، ۲۰۰۱). برای انجام آزمایش‌ها از دبی‌های ۲۵، ۲۷، ۳۰ و ۳۳ لیتر در ثانیه با عمق ثابت ۱۳ سانتی‌متر (اعداد فرود ۰/۲۴۳، ۰/۲۶۲، ۰/۲۹۲ و ۰/۳۲۱) استفاده گردید. در همه آزمایش‌ها شرایط آب تمیز حاکم بوده است. در شکل (۱) نحوه قرارگیری سرریزهای مثلثی (الف) و ترکیب سرریز مثلثی و تیغه افقی در فلوم قوسی ۹۰ درجه (ب) قبل از آبشستگی، نشان داده شده است.

نحوه انجام آزمایش‌ها

نحوه انجام هر آزمایش بدین‌گونه بود که پس از تسطیح بستر، در حالی که دریچه کشویی انتهای فلوم کاملاً بسته بود با باز کردن شیر فلکه ورودی فلوم، جریان به آرامی وارد فلوم می‌شد به گونه‌ای که تغییری در توپوگرافی بستر ایجاد نکند. پس از بالا آمدن سطح آب، جریان به صورت تدریجی به دبی مورد نظر افزایش می‌یافت سپس توسط دریچه کشویی، عمق جریان در حد مورد نظر تنظیم می‌گشت. پس از پایان یافتن مدت زمان آزمایش، ابتدا دریچه‌ی کشویی به آرامی پائین آورده می‌شد سپس شیر فلکه ورودی فلوم بسته می‌شد و اجازه داده می‌شد تا جریان به صورت تدریجی خارج و بستر فلوم زهکشی شود. پس از زهکشی شدن

بهرامی یاراحمدی و همکاران: تأثیر ترکیب تیغه افقی و سرریزهای مثلثی شکل بر...

صورت خط چین نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، آبشستگی در پنجه سرریزها کاهش یافته است و فرسایش در هیچ کدام از سازه‌ها تا ساحل بیرونی پیشروی نکرده است و تیغه افقی از گسترش آن جلوگیری کرده است. فرسایش رخ داده در محدوده تیغه افقی و ساحل داخلی بوده است. مشاهدات بصری (با تزریق ماده رنگی و استفاده از یونولیت) نشان داد که ترکیب سرریز و تیغه افقی نیز باعث انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی شده‌اند و این باعث آبشستگی در مرکز و قوس داخلی مجرا شده است. با توجه به اینکه در پنجه سرریزها آبشستگی کمی رخ داده بنابراین ترسیب رسوبات در ساحل بیرونی نیز نسبت به سرریزهای بدون تیغه افقی (نشان داده شده در شکل ۲) کاهش یافته است.

مسیر اولیه می‌باشد. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، سرریزهای مثلثی باعث کنترل فرسایش در قوس بیرونی، تشکیل ساحل مجازی در قوس بیرونی و افزایش قابلیت قایقرانی در قوس‌ها می‌شوند. اگر فاصله بین سرریزها بیش از حد لازم در نظر گرفته شود آبشستگی در پنجه سرریز افزایش و تا ساحل بیرونی گسترش خواهد یافت بنابراین باید آبشستگی در پنجه سرریزها را از نظر مقدار و گستردگی کنترل کرد. استفاده از تیغه افقی در بین سرریزها یکی از روش‌های کنترل آبشستگی در پنجه سرریزها، حتی در مواقعی که فاصله بین سرریزهای مثلثی بیش از حد لازم است، می‌باشد.

در شکل (۳) نمونه‌ای از تغییرات توپوگرافی بستر را به ازای اعداد فرود ۰/۲۹۲ و ۰/۳۲۱ برای ترکیب سرریز و تیغه افقی نشان داده شده است. در این شکل محدوده تیغه افقی در قوس بیرونی به

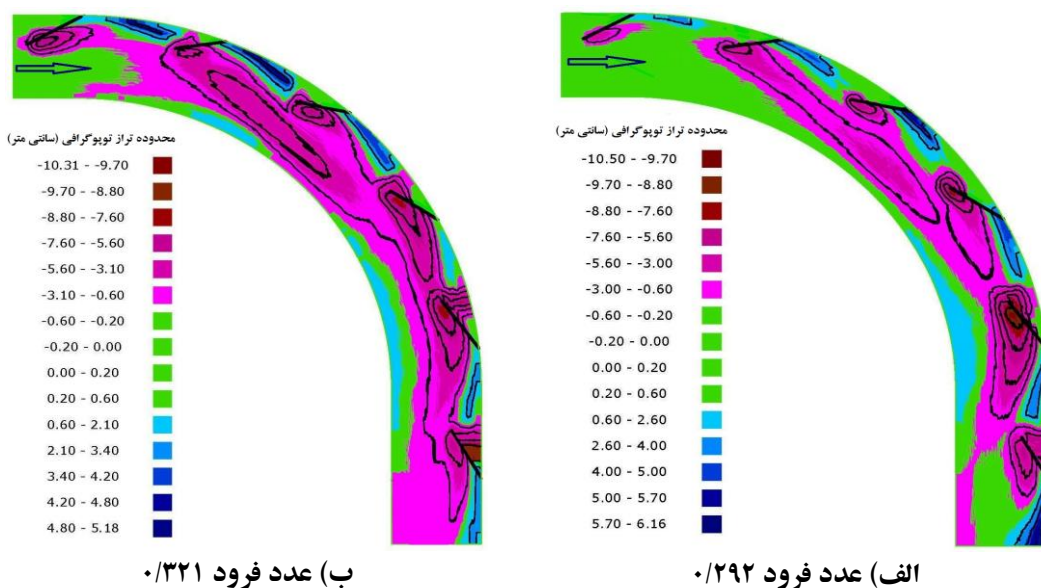


الف) سرریز مثلثی

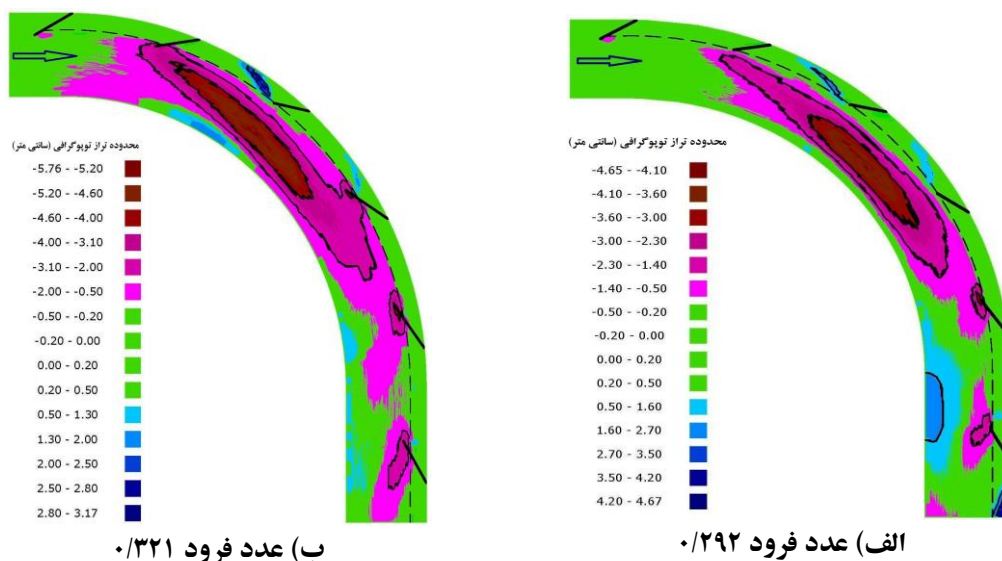


ب) ترکیب سرریز مثلثی و تیغه افقی

شکل ۱- نحوه قرارگیری سازه‌ها در قوس ملایم ۹۰ درجه قبل از آبشستگی



شکل ۲- تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه برای سرریزهای مثلی



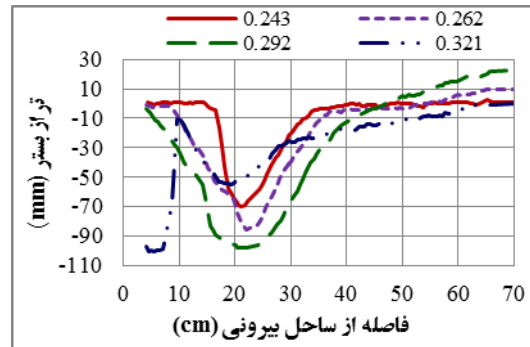
شکل ۳- تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه برای ترکیب سرریز مثلی و تیغه افقی

تیغه افقی نشان داده شده است. محور عمودی آنها نشان دهنده اعماق آبستگي و رسوب‌گذاري در هر نقطه و محور افقی آنها نشان دهنده فاصله هر نقطه از ساحل بیرونی می‌باشد. در واقع اعداد صفر و ۷۰ سانتی‌متر بر روی محور افقی به ترتیب نشان دهنده سواحل بیرونی و درونی مقطع عرضی می‌باشند. در شکل (۶) نمودار بی‌بعد حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه برای سرریز و ترکیب سرریز و تیغه افقی ارائه شده است. محور افقی آن عدد بی‌بعد فرود جریان و محور عمودی، نسبت بی‌بعد حداکثر عمق آبستگي به طول مؤثر اولیه سازه (d_{s1}/Le) می‌باشد.

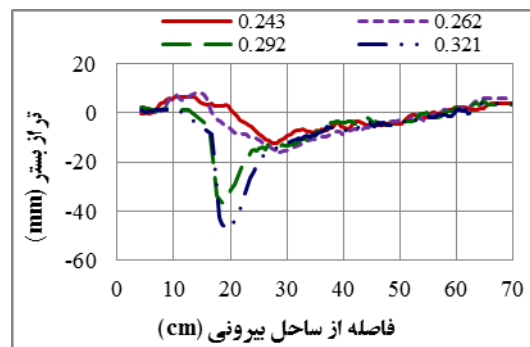
حداکثر عمق آبستگي در پنجه سرریز

در اطراف سازه‌هایی که در مسیر جریان قرار می‌گیرند همواره آبستگي رخ می‌دهد. مقدار و گستردگی آبستگي بستگی به شرایط جریان و شرایط هندسی سازه دارد. کاهش مقدار آبستگي در اطراف و پنجه سازه‌های اصلاح کننده الگوی جریان از نظر پایداری سازه و در نتیجه ساحل خارجی مجاور آن، همواره از دغدغه‌های محققین و مهندسين بوده است. در شکل‌های (۴) و (۵) پروفیل‌های عرضی مقاطع حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه به ازای اعداد فرود مختلف به ترتیب برای سرریزها و ترکیب سرریز و

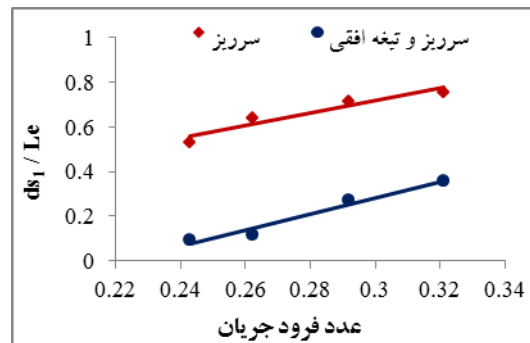
بهرامی یاراحمدی و همکاران: تأثیر ترکیب تیغه افقی و سرریزهای مثلثی شکل بر...



شکل ۴- پروفیل‌های عرضی مقاطع حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه به ازای اعداد فرود مختلف برای سرریزها



شکل ۵- پروفیل‌های عرضی مقاطع حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه به ازای اعداد فرود مختلف برای ترکیب سرریز و تیغه افقی



شکل ۶- نمودار بی بعد تغییرات حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه به ازای اعداد فرود مختلف برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی

۰/۶۶ و ۰/۲ طول مؤثر اولیه سازه می‌باشد در واقع وجود تیغه افقی در اطراف سرریزها مانع از فرسایش زیاد در اطراف و پنجه سرریزها توسط گردابه‌های مخرب شده است به طوری که حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه‌ها برای ترکیب سرریز و تیغه افقی در اعداد فرود ۰/۲۴۳، ۰/۲۶۲، ۰/۲۹۲ و ۰/۳۲۱ به ترتیب ۸۲/۵، ۸۲، ۶۲ و ۵۳ درصد (به طور متوسط ۷۰ درصد) نسبت به سرریزها کاهش پیدا کرده است.

در جدول (۱) مقادیر حداکثر عمق آبستگي و فواصل آنها از ساحل بیرونی و همچنین تغییرات طول مؤثر سازه برای آزمایش‌های مختلف ارائه شده است. در جدول (۱) ستون‌های ۱ الی ۷ از راست

نمودارها نشان می‌دهند که با افزایش عدد فرود جریان، حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه‌ها افزایش می‌یابد که این حاصل افزایش تنش برشی و قدرت گردابه‌های مخرب، در اطراف سازه‌ها در اثر افزایش عدد فرود جریان است. برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی، در اعداد فرود ۰/۲۴۳ و ۰/۳۲۱ به ترتیب کمترین و بیشترین عمق آبستگي رخ داده است.

مهمترین نتیجه نمودارهای فوق این است که در هر عدد فرود حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه برای سرریزها بیش از ترکیب سرریز و تیغه افقی می‌باشد. به طور متوسط حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب

در ستون هفتم جدول (۱) تغییرات طول مؤثر سازه (ΔL) که برابر با اختلاف طول مؤثر نهائی (بعد از فرسایش) و طول مؤثر اولیه (قبل از فرسایش) سازه می‌باشد ارائه گردیده است. در شکل (۷) نمودار بی‌بعد تغییرات طول مؤثر سازه برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی ارائه شده است. محور افقی آن عدد بی‌بعد فرود جریان و محور عمودی، نسبت بی‌بعد تغییرات طول مؤثر سازه به طول مؤثر اولیه سازه ($\Delta L/Le$) می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهند که با افزایش عدد فرود جریان تغییرات طول مؤثر سازه (ΔL) ازدیاد می‌یابد. در ضمن استفاده از تیغه افقی در سرریزها علاوه بر اینکه باعث کاهش آبستتگی در پنجه سرریزها شده است، باعث کاهش تغییرات طول مؤثر سازه نیز شده است. علت آن این است که رابطه بین طول مؤثر نهائی (بعد از فرسایش) و آبستتگی در پنجه سرریز یک رابطه مستقیم می‌باشد به گونه‌ای که هر چقدر در پنجه سرریز آبستتگی بیشتری رخ دهد طول مؤثر نهائی آن نیز بیشتر خواهد شد. به طور متوسط تغییرات طول مؤثر سازه برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب ۰/۵۳۵ و ۰/۱۹۶ طول مؤثر اولیه سازه می‌باشد.

در استفاده از تیغه‌های افقی، مسئله زیرشویی در آنها بسیار حائز اهمیت می‌باشد چرا که گسترش آن برای پایداری تیغه افقی خطرناک می‌باشد. در این تحقیق در اعداد فرود ۰/۲۴۳ و ۰/۲۶۲ زیر شویی اتفاق نیفتاد ولی در اعداد فرود ۰/۲۹۲ و ۰/۳۲۱ حداکثر مقدار زیر شویی به ترتیب ۰/۲۸۵ و ۰/۴۲۸ عرض تیغه افقی بوده است. نتایج محققین نشان داد که تغییر عرض و نیز تغییر عمق کارگذاری تیغه افقی (از سطح رسوبات بستر) باعث تغییر مقدار زیرشویی خواهد شد (رضانیا و همکاران، ۱۳۸۸؛ روکا، ۲۰۰۳؛ روکا و همکاران، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹).

به چپ به ترتیب نشان دهنده نوع آزمایش، عدد فرود جریان (Fr)، حداکثر عمق آبستتگی در پنجه سرریز (d_{s1})، فاصله حداکثر عمق آبستتگی از ساحل بیرونی (Y)، نسبت بی‌بعد فاصله حداکثر عمق آبستتگی به طول مؤثر اولیه سازه (Y/Le)، فاصله مقطع حداکثر آبستتگی از ابتدای قوس بر حسب درجه (θ) و تغییرات طول مؤثر سازه (ΔL) می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهند که استفاده از تیغه افقی باعث دور شدن حداکثر عمق آبستتگی پنجه سازه از ساحل بیرونی شده است. در سرریزها به ازای عدد فرود ۰/۳۲۱ حداکثر عمق آبستتگی در محدوده بین محور سازه و ساحل بیرونی و با فاصله ۰/۳۲ طول مؤثر اولیه سازه (۴/۵ سانتی‌متر) از ساحل بیرونی ایجاد شده است و این از نظر پایداری ساحل بیرونی و سازه خطرناک می‌باشد. در سایر آزمایش‌های سرریز، حداکثر عمق آبستتگی پنجه سازه در پشت محور سازه رخ داده است. در ترکیب سرریز و تیغه افقی، حداکثر عمق آبستتگی با فاصله از تیغه افقی و در پشت محور سرریز تشکیل گردید.

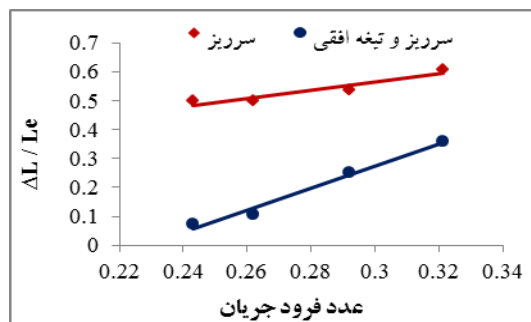
به طور متوسط فاصله حداکثر عمق آبستتگی پنجه سازه از ساحل بیرونی برای ترکیب سرریز و تیغه افقی ۱/۶ برابر طول مؤثر اولیه سازه می‌باشد. از دیگر نتایج جدول مذکور این است که حداکثر عمق آبستتگی برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی از زاویه ۷۵ درجه (نسبت به ابتدای قوس) به بعد رخ می‌دهد که علت آن افزایش قدرت جریان حلزونی در نیمه دوم قوس می‌باشد. در سرریزها به ازای اعداد فرود ۰/۲۴۳ و ۰/۳۲۱، حداکثر عمق آبستتگی به ترتیب در فاصله‌های سه و چهار برابر طول مؤثر اولیه سازه، از انتهای قوس و در مسیر مستقیم پائین دست قوس رخ داده است.

به دلیل آبستتگی در پنجه سازه‌ها، بخشی از سازه که درون بستر رسوبی قرار داشت نمایان شد و طول مؤثر سرریز افزایش یافت. در این تحقیق طول مؤثر اولیه سازه (قبل از فرسایش) یک پنجم عرض مجرا (۱۴ سانتی‌متر) بوده است.

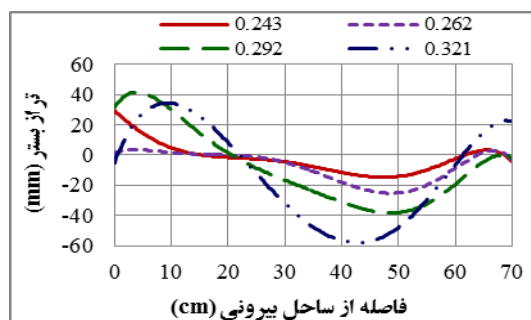
جدول ۱- مقادیر حداکثر عمق آبستتگی در پنجه سازه‌ها و فواصل آنها از ساحل بیرونی برای آزمایش‌های مختلف

آزمایش	Fr	d_{s1} (cm)	Y (cm)	Y/Le	θ (deg)	ΔL (cm)
سرریز	۰/۲۴۳	۷/۴۶	۲۰/۳	۱/۴۵	۴۲ سانتی‌متر پس از قوس	۷
سرریز	۰/۲۶۲	۸/۹۶	۲۰/۵	۱/۴۶	۷۵/۸۱	۷
سرریز	۰/۲۹۲	۱۰	۲۰/۵	۱/۴۶	۷۸	۷/۵
سرریز	۰/۳۲۱	۱۰/۶	۴/۵	۰/۳۲	۵۶ سانتی‌متر پس از قوس	۸/۵
ترکیب سرریز و تیغه افقی	۰/۲۴۳	۱/۳	۲۶/۹	۱/۹۲	۷۷	۱
ترکیب سرریز و تیغه افقی	۰/۲۶۲	۱/۶	۲۶	۱/۸۵	۷۷	۱/۵
ترکیب سرریز و تیغه افقی	۰/۲۹۲	۳/۸	۱۷/۵	۱/۲۵	۷۷/۴۵	۳/۵
ترکیب سرریز و تیغه افقی	۰/۳۲۱	۵	۱۸/۵	۱/۳۲	۷۷	۵

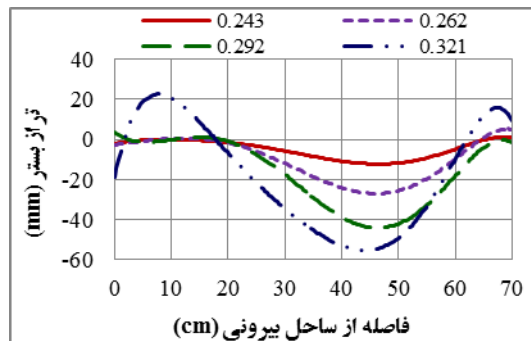
بهرامی یاراحمدی و همکاران: تأثیر ترکیب تیغه افقی و سرریزهای مثلثی شکل بر...



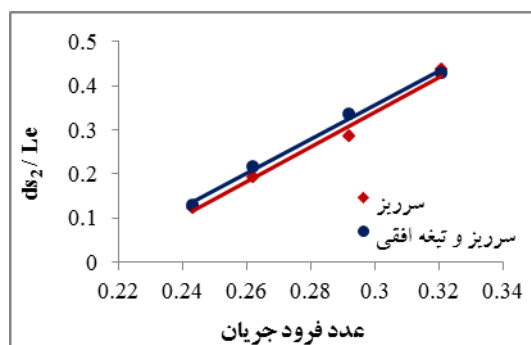
شکل ۷- نمودار بی بعد تغییرات طول مؤثر سازه به ازای اعداد فرود مختلف برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی



شکل ۸- پروفیل‌های عرضی مقاطع حداکثر عمق آبشستگی کانال فرسایشی به ازای اعداد فرود مختلف برای سرریزها



شکل ۹- پروفیل‌های عرضی مقاطع حداکثر عمق آبشستگی کانال فرسایشی به ازای اعداد فرود مختلف برای ترکیب سرریز و تیغه افقی



شکل ۱۰- نمودار بی بعد تغییرات حداکثر عمق آبشستگی کانال فرسایشی به ازای اعداد فرود مختلف حداکثر عمق آبشستگی کانال فرسایشی

است. برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی، در اعداد فرود ۰/۲۴۳ و ۰/۳۲۱ به ترتیب کمترین و بیشترین عمق آبستگي کانال فرسایشی رخ داده است. مهمترین نتیجه نمودارهای فوق این است که استفاده از تیغه افقی تأثیر اندکی بر میزان حداکثر عمق آبستگي کانال فرسایشی داشته است به طوری که حداکثر عمق آبستگي کانال فرسایشی در سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۲۸ طول مؤثر اولیه سازه شده است.

همان گونه که ذکر گردید، هدایت جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز مجرا و در نتیجه آن تمرکز غالب جریان و افزایش تنش برشی در مرکز و قوس داخلی باعث ایجاد کانال فرسایشی می‌شود. سرریزهای مثلثی به خوبی جریان را از قوس بیرونی به طرف مرکز مجرا هدایت کرده و باعث تشکیل کانال فرسایشی گردیده است. استفاده از تیغه افقی در سرریزها، تأثیر اندکی بر راندمان سرریزها از نظر هدایت جریان از قوس بیرونی و افزایش تنش برشی در مرکز و قوس داخلی داشته است و حداکثر عمق آبستگي کانال فرسایشی افزایش اندکی داشته است. به طور متوسط استفاده از تیغه افقی در سرریزها ۸ درصد حداکثر عمق آبستگي کانال فرسایشی را افزایش داده است.

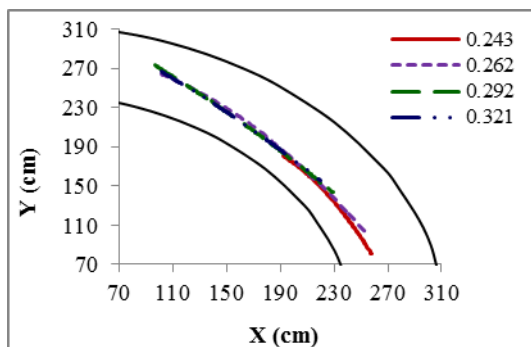
در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) به ترتیب پلان خط القعر کانال فرسایشی در قوس ۹۰ درجه برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ازای اعداد فرود مختلف نشان داده شده است. همان گونه که شکل‌ها نشان می‌دهند در همه آزمایش‌ها، خط القعر در نزدیکی قوس داخلی مجرا تشکیل گردیده است که این نشان دهنده توانایی سرریزهای مثلثی در انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا می‌باشد.

انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا می‌تواند یک مزیت مهم برای سازه‌های اصلاح کننده الگوی جریان باشد. انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا، باعث کنترل و کاهش فرسایش در قوس بیرونی خواهد شد و از طرفی قابلیت قایق‌رانی در قوس را افزایش می‌دهد. سرریزهای مثلثی شکل از جمله سازه‌های اصلاح کننده الگوی جریان هستند که دارای این مزیت مهم می‌باشند. انحراف جریان از قوس بیرونی، به علت افزایش تنش برشی جریان در میانه مجرا، باعث آبستگي در میانه و نزدیک قوس داخلی و در نتیجه تشکیل یک کانال فرسایشی در میانه فلوم شد. در این بخش به بررسی کانال فرسایشی در سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی و مقایسه آنها با یکدیگر پرداخته شده است.

در شکل‌های (۸) و (۹) پروفیل‌های عرضی مقاطع حداکثر عمق آبستگي کانال فرسایشی به ترتیب برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ازای اعداد فرود مختلف نشان داده شده است. محور عمودی آنها نشان دهنده اعماق آبستگي و رسوب‌گذاری در هر نقطه و محور افقی آنها نشان دهنده فاصله هر نقطه از ساحل بیرونی می‌باشد.

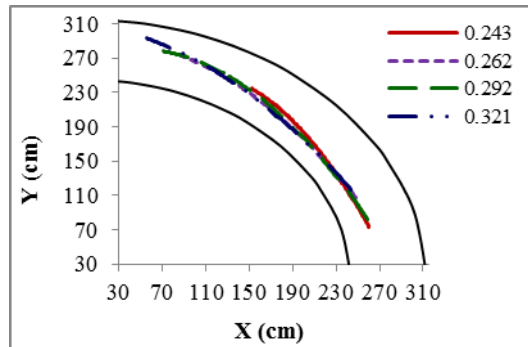
در شکل (۱۰) نمودار بی‌بعد حداکثر عمق آبستگي کانال فرسایشی برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی ارائه شده است. محور افقی آن عدد بی‌بعد فرود جریان و محور عمودی، نسبت بی‌بعد حداکثر عمق آبستگي کانال فرسایشی به طول مؤثر اولیه سازه (d_{s2}/L_e) می‌باشد.

نمودارها نشان می‌دهند که با افزایش عدد فرود جریان حداکثر عمق آبستگي کانال فرسایشی افزایش می‌یابد که این حاصل افزایش تنش برشی و قدرت جریان در اثر افزایش عدد فرود جریان

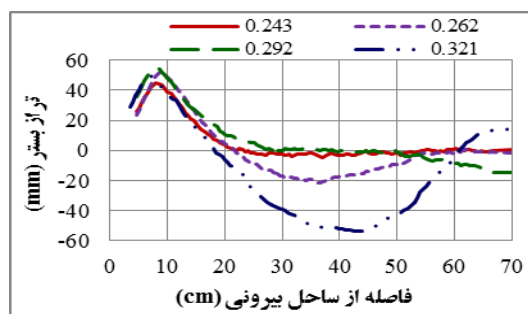


شکل ۱۱- پلان خط القعر کانال فرسایشی در قوس ۹۰ درجه برای سرریزها به ازای اعداد فرود مختلف

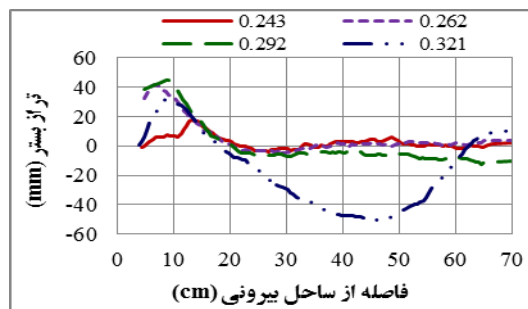
بهرامی یاراحمدی و همکاران: تأثیر ترکیب تیغه افقی و سرریزهای مثلثی شکل بر...



شکل ۱۲- پلان خط القعر کانال فرسایشی در قوس ۹۰ درجه برای ترکیب سرریز و تیغه افقی به ازای اعداد فرود مختلف



شکل ۱۳- پروفیل‌های عرضی مقاطع با حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری به ازای اعداد فرود مختلف برای سرریزها



شکل ۱۴- پروفیل‌های عرضی مقاطع با حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری به ازای اعداد فرود مختلف برای ترکیب سرریز و تیغه افقی

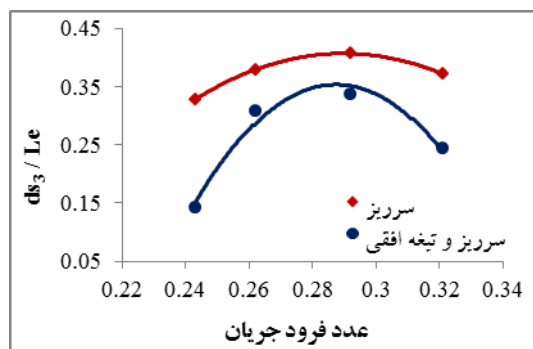
مثلثی و تأثیر استفاده از تیغه افقی در سرریزها بر نحوه رسوب‌گذاری پرداخته شده است.

در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) پروفیل‌های عرضی حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ازای اعداد فرود مختلف ارائه گردیده است. محور عمودی آنها نشان دهنده اعماق آبستگتی و رسوب‌گذاری در هر نقطه و محور افقی آنها نشان دهنده فاصله هر نقطه از ساحل بیرونی می‌باشد. در شکل (۱۵) نمودار بی‌بعد حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی ارائه شده است. محور افقی آن عدد بی‌بعد فرود جریان و محور عمودی، نسبت بی‌بعد حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری به طول مؤثر اولیه سازه (d_{s3}/L_e) می‌باشد.

به طور متوسط فاصله خط القعر از ساحل بیرونی برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب ۳/۳۱ و ۳/۳۴ برابر طول مؤثر اولیه سازه (یا ۰/۶۶۸ و ۰/۶۶۲ عرض مجرا) می‌باشد که این نشان دهنده این است که استفاده از تیغه افقی در سرریزها تأثیری در محل تشکیل خط القعر در قوس، نسبت به ساحل بیرونی ندارد.

توسیع

سرریزهای مثلثی شکل از جمله سازه‌هایی هستند که همانند آبشکن‌ها دارای قابلیت ساحل‌سازی می‌باشند و این یکی دیگر از مزایای مهم سرریزهای مثلثی شکل می‌باشد. در این بخش به بررسی نحوه رسوب‌گذاری و تشکیل ساحل مجازی در سرریزهای



شکل ۱۵- نمودار بی بعد تغییرات حداکثر ارتفاع رسوب گذاری به ازای اعداد فرود مختلف



الف) سرریز مثلثی



ب) ترکیب سرریز و تیغه افقی

شکل ۱۶- ترسیب رسوب و آبستنگی در پنجه سازه

فرود جریان، حداکثر ارتفاع رسوب گذاری افزایش می یابد و در عدد فرود ۰/۲۹۲ حداکثر ارتفاع رسوب گذاری به بیشترین مقدار خود می رسد. از این عدد فرود به بعد، با افزایش فرود جریان، مقدار حداکثر ارتفاع رسوب گذاری کاهش می یابد. استفاده از تیغه افقی در

نمودارها نشان می دهند که در سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی ترسیب رسوب در ساحل بیرونی صورت گرفته است. در سرریزها روند تغییرات حداکثر ارتفاع رسوب گذاری در ساحل بیرونی صعودی- نزولی است به طوری که از عدد فرود ۰/۲۴۳ با افزایش

بهرامی یاراحمدی و همکاران: تأثیر ترکیب تیغه افقی و سرریزهای مثلثی شکل بر...

در شکل (۱۶) ترسیب رسوبات و فرسایش در پنجه سازه برای سرریزها (شکل الف) و ترکیب سرریز و تیغه افقی (شکل ب) به ازای عدد فرود $0/۲۶۲$ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد استفاده از تیغه افقی مانع از فرسایش در پنجه و وجه بالادست محور سرریز و گسترش آن تا ساحل بیرونی شده است.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق بررسی کنترل فرسایش در قوس بیرونی رودخانه با استفاده از ترکیب سرریز مثلثی و تیغه افقی و همچنین کاهش فرسایش در پنجه سرریزهای مثلثی و جلوگیری از گسترش آن به ساحل بیرونی بوده است. نتایج نشان داد که سرریزهای مثلثی با ترسیب رسوبات در ساحل بیرونی باعث سازه‌سازی و کنترل فرسایش در ساحل بیرونی می‌شوند. آنها با هدایت جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز مجرا باعث آبستگي در مرکز و قوس داخلی مجرا و افزایش قابلیت قایقرانی در قوس‌ها می‌شوند. در این تحقیق به علت فاصله بیش از حد سرریزها از یکدیگر، فرسایش در پنجه آنها از نظر مقدار و گستردگی افزایش قابل توجهی یافت به گونه‌ای که در عدد فرود $0/۳۲۱$ آبستگي در پنجه سازه‌های دو، چهار، پنج و شش تا ساحل بیرونی گسترش پیدا کرده است. آبستگي بیش از حد در پنجه سرریزها و گسترش آن تا ساحل بیرونی علاوه بر اینکه برای سازه از نظر پایداری خطرناک می‌باشد، باعث تخریب ساحل بیرونی نیز می‌شود. استفاده از تیغه افقی در بین سرریزهای مثلثی باعث کاهش حداکثر عمق آبستگي در پنجه سرریزها و مانع از گسترش آن تا ساحل بیرونی شده است و بدین طریق باعث ایمنی سرریز و ساحل بیرونی مجاور آن شده است. به طور متوسط حداکثر عمق آبستگي در پنجه سازه برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب $0/۶۶$ و $0/۲$ طول مؤثر اولیه سازه می‌باشد. در واقع استفاده از تیغه افقی به طور متوسط ۷۰ درصد حداکثر عمق آبستگي را در پنجه سرریزها کاهش داده است. کاهش فرسایش در پنجه سرریزها توسط تیغه افقی باعث کاهش تغییرات طول مؤثر سرریز نیز شده است. به طور متوسط تغییرات طول مؤثر سازه برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب $0/۵۳۵$ و $0/۱۹۶$ طول مؤثر اولیه سازه می‌باشد. کاهش فرسایش در پنجه سرریزها موجب کاهش رسوب‌گذاری در ساحل بیرونی گردید ولی رسوبات حاصل از فرسایش در پنجه سرریزها در هر دو آزمایش (با و بدون تیغه افقی) در ساحل بیرونی ترسیب یافته است. به طور متوسط حداکثر ارتفاع رسوبات ترسیب یافته در سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب $0/۳۷$ و $0/۲۶$ طول مؤثر اولیه سازه (و یا $0/۴$ و $0/۲۷$ ارتفاع سازه) می‌باشد. استفاده از تیغه افقی در بین سرریزهای مثلثی تأثیر اندکی بر هدایت جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا داشته است به طوری که حداکثر عمق آبستگي کانال فرسایشی در سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب $0/۲۶$ و $0/۲۸$ طول مؤثر اولیه سازه شده است. استفاده از تیغه افقی در سرریزها نه

سرریزها تأثیری در روند تغییرات حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری نداشته است به گونه‌ای که روند نمودار آن نیز صعودی- نزولی است و حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری در عدد فرود $0/۲۹۲$ رخ داده است. استفاده از تیغه افقی در سرریزها، تأثیری در روند تغییرات حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری ایجاد نکرده اما باعث کاهش حجم و حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری در ترکیب سرریز و تیغه افقی، به دلیل کاهش آبستگي در پنجه سرریز، شده است.

به طور متوسط حداکثر ارتفاع رسوبات ترسیب یافته در سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب $0/۳۷$ و $0/۲۶$ طول مؤثر اولیه سازه (و یا $0/۴$ و $0/۲۷$ ارتفاع سازه) می‌باشد.

نحوه رسوب‌گذاری در سرریزها بدین گونه است که، با شروع فرسایش در پنجه سازه، رسوبات حاصل از آن در راستای محور سازه به طرف ساحل بیرونی حرکت کرده و در آنجا ترسیب پیدا می‌کنند. هر چقدر میزان فرسایش بیشتر باشد رسوبات ترسیب یافته در ساحل بیرونی دارای حجم و ارتفاع بیشتری خواهند بود. نحوه ترسیب بدین صورت است که پشته ترسیب یافته در پائین دست هر سازه، در راستای قوس بیرونی و چسبیده به آن بوده است ولی با دورتر شدن از سازه بالادستی، پشته ترسیبی از ساحل بیرونی فاصله گرفته و به طرف مرکز مجرا منحرف می‌شود بنابراین یک مجرائی بین ساحل بیرونی و تاج پشته ترسیبی به وجود می‌آید که مشاهدات بصری (با تزریق ماده رنگی و استفاده از یونولیت) نشان داد جریان در این مجرا در راستای ساحل بیرونی بوده است. در سرریزها با فاصله $8Lc$ تاج پشته رسوبی از بالادست به صورت زاویه‌دار نسبت به ساحل بیرونی ترسیب پیدا کرده است و به علت فاصله زیاد سرریزها از یکدیگر، تا نزدیکی پنجه سازه پائین دستی پیشروی کرده است. این امر از چند نظر خطرناک می‌باشد: اول اینکه، جریان مابین تاج پشته رسوبی و ساحل بیرونی در راستای قوس بیرونی حرکت می‌کند لذا می‌تواند باعث فرسایش ساحل در این قسمت شود. دوم اینکه، این جریان به علت برخورد مستقیم با وجه بالادست محور سرریز و انحراف به طرف مرکز مجرا، می‌تواند فرسایش در پنجه سرریز را تشدید کند. سوم اینکه، به علت ترسیب پشته رسوبی در نزدیکی پنجه سرریز، یکسری گردابه‌های قائم با محور افقی در وجه بالادست محور سرریز ایجاد می‌شود که فرسایش در این بخش را تشدید می‌کند و باعث می‌شود فرسایش تا ساحل بیرونی پیشروی کند.

استفاده از تیغه افقی در سرریزها تأثیری در نحوه ترسیب رسوبات در ساحل بیرونی ایجاد نمی‌کند ولی آنها اولاً مانع از برخورد مستقیم جریان قائم پائین رونده در پاشنه ساحل بیرونی و در نتیجه فرسایش پاشنه و تخریب ساحل بیرونی می‌شوند، دوماً مانع از فرسایش در پنجه سرریز در اثر جریان عبوری از روی تاج سرریز می‌شوند و سوماً مانع از فرسایش در پنجه و وجه بالادست محور سرریز و گسترش آن تا ساحل بیرونی تحت تأثیر گردابه‌های قائم ناشی از پشته رسوب‌گذاری شده در نزدیکی پنجه سرریز، می‌شوند.

فرسایشی در قوس، نسبت به ساحل بیرونی ندارد.

تشکر و قدردانی

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

درصد حداکثر عمق آبستنگی کانال فرسایشی را افزایش داده است. از طرف دیگر، به طور متوسط فاصله خط القعر کانال فرسایشی از ساحل بیرونی برای سرریزها و ترکیب سرریز و تیغه افقی به ترتیب ۳/۳۴ و ۳/۳۱ طول مؤثر اولیه سازه (یا ۰/۶۶۸ و ۰/۶۶۲ عرض مجرا) می‌باشد که نشان دهنده این است که استفاده از تیغه افقی در سرریزها تأثیری در محل تشکیل خط القعر کانال

منابع

- ۱- بهرامی یاراحمدی، م.، شفاعی بجستان، م. و س. ح. موسوی چهرمی. ۱۳۹۲ الف. مقایسه عملکرد سازه‌های اصلاح کننده الگوی جریان در قوسها. کنفرانس بین المللی عمران معماری و توسعه پایداری شهری، تبریز.
- ۲- بهرامی یاراحمدی، م.، شفاعی بجستان، م.، دوستکام، م. و س. زرگرزاده. ۱۳۹۲ ب. مطالعه جابجائی چاله فرسایشی در قوس ملایم ۹۰ درجه با حضور صفحات مثلثی شکل. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران.
- ۳- حسینی، ا.، حبیبی، م. و ا. صابری. ۱۳۸۳. ارزیابی فنی و اقتصادی اپی های احداث شده بر روی رودخانه زنجانرود. طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، شماره ثبت ۲۶/۸۳.
- ۴- رضائیا، ع. ر.، شفاعی بجستان، م. و س. م. کاشفی پور. ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی اثر تیغه افقی بر توپوگرافی بستر در خم ۹۰ درجه. مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال سوم، (۶): ۳۸-۲۷.
- 5- Breusers, H. N. C. and A. J. Raudkivi. 1991. Scouring. Hydraulic structure design manual, No 2 IAHR. Balkema. 143p.
- 6- Johnson, P. A., Hey, R. D., Tessier, M. and D. L. Rosgen. 2001. Use of vanes for control of scour at vertical wall abutments. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 127(9): 772-778.
- 7- khozaymeh Nezhad, H. and M. Ghomshi. 2013. Comparison of symmetrical and unsymmetrical rectangular collars on scour reduction of bridge abutment. Middle-East Journal of Scientific Research, 18 (8): 1099-1104.
- 8- Kumar, V., Ranga Raju, K. and N. Vittal. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(12):1302-1305.
- 9- Roca, M. 2003. Scour in a sharp bend. Effect of the outer bank wall footings. Ph.D. Thesis, Technical University of Catalonia, UPC., Barcelona (in spanish).
- 10- Roca, M., Blanckaert, K. and J. P. Martin-Vide. 2009. Reduction of bend scour by an outer bank footing. Flow field and turbulence. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 135(5): 361-368.
- 11- Roca, M., Martin-Vide, J. P. and K. Blanckaert. 2007. Reduction of bend scour by an outer bank footing. Footing design and bed topography. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 133(2): 139-147.
- 12- Singh, C. P., Setia, B. and D. V. S. Verma. 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. Proceedings of Theme D. 29th Congress on Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China, PP. 202-209.
- 13- Zarrati, A. R., Gholami, H. and M. Azizi. 2004. Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. Journal of Hydraulic Research, 42(1): 97- 103.