

مقاله پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی عملکرد صفحات مثلثی بر توپوگرافی بستر در رودخانه‌های مستقیم

نوشین نجفی بیرگانی^۱، محمود شفاعی بجنستان^۲، محمد بهرامی یاراحمدی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۳۰

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

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

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

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_bahrami_1085@Yahoo.com, m.bahrami@scu.ac.ir

چکیده

آبشکن‌ها از جمله سازه‌هایی هستند که برای حفاظت سواحل و ساماندهی رودخانه‌ها بکار می‌روند. آنها معمولاً به شکل دیواره مستطیلی و عمود بر جریان می‌باشند. توسعه آبشستگی در دماغه آنها متأسفانه عامل تخریب سازه است. علاوه بر این محدوده رسوبگذار بین آبشکن‌ها و نیز افزایش سرعت جریان در میانه مجرا، بدلیل انسداد زیاد، از جمله عواملی هستند که مشکلاتی را برای زندگی آبیان رودخانه فراهم می‌کند. صفحات مثلثی از جمله سازه‌هایی است که مشکلات مربوط به آبشکن‌های مستطیلی در آنها حداقل می‌باشد. بررسی عملکرد صفحات مثلثی بر تغییرات توپوگرافی بستر در شرایط مختلف جریان هدف اصلی این مقاله است. برای این منظور آزمایش‌هایی در یک فلوم مستقیم برای شرایط مختلف جریان (پنج عدد فرود ۰/۱۸، ۰/۲، ۰/۲۲، ۰/۲۴ و ۰/۲۶) با نصب صفحات مثلثی به ازای زاویه ۳۰ درجه و فاصله ۴ برابر طول موثر سازه انجام گردید. در انتهای هر آزمایش توپوگرافی بستر توسط متر لیزری برداشت گردید. نتایج نشان داد که، ابعاد هندسی چاله آبشستگی در آبشکن‌های مستطیلی بزرگتر از صفحات مثلثی می‌باشد بگونه‌ای که بطور متوسط طول و عمق چاله آبشستگی در آبشکن‌های مستطیلی به ترتیب ۱/۳ و ۱/۵ برابر در صفحات مثلثی است. در ضمن فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل در صفحات مثلثی حدود ۴۰٪ بیشتر از آبشکن‌های مستطیلی است که این یک مزیت برای صفحات مثلثی محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، آبشکن، سواحل رودخانه، صفحات مثلثی

Experimental Investigation of the Performance of Triangular Vanes on Bed Topography in Straight Rivers.

N Najafi Birgani¹, M Shafai Bejestan², M Bahrami Yarahmadi^{3*}

Received: November 14, 2018 Accepted: May 19, 2020

¹M.Sc. Graduate, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

²Prof., Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

³Assistant Prof., Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

*Corresponding Author; Email: m_Bahrami_1085@yahoo.com, m.bahrami@scu.ac.ir

Abstract

Spur dikes are one of the structures used for protection of river banks from erosion and rivers organization. They are usually rectangular and perpendicular to the flow. Unfortunately, the scour development in the tip of those can lead damage to the structure. Furthermore, sedimentation between the spur dikes as well as increasing the flow velocity in the middle of the channel due to the large obstruction, are among the factors that create problems for aquatic life of the river. These problems are minimal in the triangular vanes. The main purpose of this paper is to evaluate the performance of the triangular vanes on bed topography changes in the different flow conditions. For this reason, some tests were carried out at a straight flume for different flow conditions (five Froude numbers of 0.18, 0.20, 0.22, 0.24 and 0.26) by installing series of triangular vanes with space of $4L_e$ (L_e is the effective length of structure) at the angle of 30 degrees to the upstream bank. At the end of each test the bed topography was measured by laser distance measurer. The results showed that, the geometric dimension of the scour hole for the rectangular spur dikes was larger than that for the triangular vanes. On average, the length and depth of scour hole for the rectangular spur dikes were 1.3 and 1.5 times higher in comparison to those for triangular vanes, respectively. In addition, the position of the maximum scour depth for the triangular vanes was about 40% farther from the bank than that case of rectangular spur dikes that was an advantage for the triangular vanes.

Keywords: River banks, Scour, Spur dike, Triangular vanes

مقدمه

رودخانه می شود و یا با کاهش سرعت از شدت برخورد جریان با دیواره‌ها کاسته و توانایی رسوبگذاری جریان را افزایش می‌دهند. آبشکن، سرریز مستغرق، صفحات مستغرق و صفحات مثلثی از جمله این سازه‌ها می‌باشند (بی‌نام ۲۰۰۸). آبشکن‌ها از جمله سازه‌های پرکاربردی هستند که به صورت عرضی از ساحل رودخانه به طرف محور آن و با زوایای مختلف نسبت به کناره رودخانه ساخته می‌شوند. احداث آبشکن در سواحل رودخانه باعث

رودخانه‌ها در مسیر تکاملی خود همواره دست خوش تغییر و تحول و دگرگونی بوده‌اند. فرسایش سواحل و بستر رودخانه و همچنین رسوبگذاری در قسمت‌های دیگر، از جمله این تغییرات می‌باشند که برای ساکنین رودخانه پدیده نامطلوبی می‌باشد. از جمله روش‌های حفاظت سواحل، احداث سازه‌هایی است که بر خطوط جریان تاثیر گذاشته و موجب انحراف آنها از دیواره‌های فرسایش پذیر به قسمت‌های میانی

در سراسر دنیا شده است. این سازه‌ها به شکل مثلث می‌باشند که با زاویه کم (۲۰ الی ۳۰ درجه) و بصورت دافع در ساحل رودخانه احداث می‌شوند (شیلدز ۱۹۸۳، هی ۱۹۹۲، ۱۹۹۴، ۱۹۹۶، راسگن ۲۰۰۶).

بویان و همکاران (۲۰۱۰) در یک تحقیق آزمایشگاهی جهت کنترل فرسایش سواحل رودخانه از صفحات مثلثی استفاده کردند. نتایج نشان داد که وقتی یک و یا یک گروه از صفحات به ساحل نصب می‌شوند، چاله فرسایشی در بستر ساحل خارجی پر می‌شود و خط القعر به طرف مرکز رودخانه انتقال داده می‌شود. صفحات یک سلول جریان ثانویه ایجاد می‌کنند که جریان حلزونی در قوس را خنثی می‌کند. صفحاتی که ارتفاع آنها به اندازه تراز لبریز جریان می‌باشند نسبت به صفحاتی که ارتفاع آنها به اندازه نصف تراز لبریز جریان است، عملکرد بهتری نشان دادند. بهرامی یاراحمدی و شفافی بجستان (۲۰۱۴، ۲۰۱۵ الف، ۲۰۱۵ ب، ۲۰۱۶ ب) اثرات زاویه، طول موثر (فاصله نوک سازه در بستر از ساحل بیرونی) و فاصله بین صفحات مثلثی شکل بر الگوی آبشستگی و رسوبگذاری در اطراف آنها را در قوس ملایم ۹۰ درجه تحقیق کردند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش زاویه صفحات نسبت به ساحل بالادست، عمق و حجم آبشستگی در پنجه سازه افزایش می‌یابد بطوریکه زوایای ۲۳ و ۳۰ درجه دارای کمترین مقدار و زاویه ۶۰ درجه دارای بیشترین مقدار می‌باشد. با کاهش طول موثر سازه، بیشینه عمق آبشستگی و حجم آبشستگی در پنجه سازه کاهش یافته و بیشینه عمق آبشستگی در سازه با طول موثر یک پنجم عرض فلوم کمترین مقدار را داشته است. در ضمن نتایج نشان داد که، با افزایش فاصله بین صفحات، بیشینه عمق آبشستگی در پنجه سازه و گسترش آن تا ساحل بیرونی ازدیاد می‌یابد. بررسی‌ها نشان دادند که فاصله ۴ و ۵ برابر طول موثر سازه، فاصله مناسبی برای صفحات مثلثی شکل می‌باشد. بهرامی یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۵) تاثیر ترکیب صفحات مثلثی شکل و تیغه افقی بر تغییرات توپوگرافی بستر در قوس

ایجاد جریان‌های گردابی در اطراف آن و همچنین افزایش سرعت و تنش برشی در مجرای جریان بخصوص در دماغه آن خواهد شد. ترکیب این عوامل منجر به برداشته شدن رسوبات بستر رودخانه در محدوده دماغه سازه تا ساحل داخلی رودخانه خواهد شد که در دراز مدت موجب ایجاد حفره‌های آبشستگی بزرگ در نوک آبشکن می‌شود که این امر احتمال تخریب سازه را به دنبال خواهد داشت. آبشستگی دماغه آبشکن از جمله معایب این سازه است به همین دلیل از گذشته مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور در رابطه با پیش‌بینی و کاهش عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها انجام شده است. در این خصوص می‌توان به تحقیقات گیل (۱۹۷۲)، ملویل (۱۹۹۲)، کوهنل و همکاران (۱۹۹۹)، یاسی (۱۹۹۹)، صانعی (۲۰۰۷)، ژیکانگ و همکاران (۲۰۰۸)، عباس‌پور و همکاران (۲۰۱۰)، موسوی و همکاران (۲۰۱۰)، واقفی و همکاران (۲۰۱۲)، ژانگ و همکاران (۲۰۱۲)، یان و همکاران (۲۰۱۲)، حسین زاده تبریزی و همکاران (۲۰۱۴)، دیوسالار و موسوی جهرمی (۲۰۱۴)، ابراهیم (۲۰۱۴)، علیزاده ارمکی و همکاران (۲۰۱۵) و خلیج و گوهری (۲۰۱۹) اشاره کرد. با وجود مطالعات گسترده بر روی آبشکن در جهت کاهش عمق آبشستگی دماغه آن، اما هنوز این مساله یک معضل و عیب بزرگ برای آبشکن‌ها بشمار می‌رود. تخریب آبشکن‌های رودخانه زجانرود تائید کننده مطلب فوق الذکر می‌باشد (حسینی و همکاران ۲۰۰۴).

صفحات مثلثی از جمله سازه‌های هیدرولیکی هستند که باعث حفاظت سواحل رودخانه از فرسایش، رسوبگذاری در سواحل، بهبود وضعیت قایق رانی رودخانه می‌شوند. علاوه بر این، سازه فوق الذکر سبب ترمیم و توسعه زیستگاه ماهیان و دیگر موجودات زنده آبرزی می‌شود که این مزیت باعث شده در سالهای اخیر این سازه در کانون توجه محققین و مهندسين رودخانه قرار گیرد. در دهه اخیر توجه و اهمیت به محیط زیست رودخانه و تلاش برای ترمیم و احیای آن دغدغه مردم

بررسی اثرات پارامترهای موثر بر آبشستگی حول سازه‌ها بدست می‌آید:

$$ds/Y = f(Fr, S_f) \quad [2]$$

در رابطه فوق Fr عدد فرود جریان و S_f پارامتر معرف شکل سازه می‌باشد. طبق رابطه فوق بیشینه عمق آبشستگی در این تحقیق، تابع عدد فرود جریان و شکل سازه می‌باشد. علاوه بر بیشینه عمق آبشستگی، دیگر پارامترهای آبشستگی نیز مانند طول و عرض چاله آبشستگی و همچنین فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل تابع عدد فرود جریان و شکل سازه می‌باشند.

تجهیزات آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و درون فلوم مستقیمی با طول $7/3$ متر و عرض $0/56$ متر و ارتفاع $0/6$ متر انجام شده است. همانطوریکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود جریان مورد نیاز در فلوم با استفاده از یک پمپ سانتریفوژ از مخزن زیرزمینی تامین آب، وارد فلوم می‌گردید و توسط صفحه مشبک در ورودی فلوم تلاطم آن از بین می‌رفت. در انتهای فلوم دریچه‌ای برای تنظیم عمق جریان تعبیه شده بود. دبی جریان از طریق سرریز مثلثی 53 درجه در پائین دست فلوم اندازه گیری می‌شد. در این آزمایش‌ها از دبی‌های 20.22 ، 25 و 27 لیتر بر ثانیه به ازای عمق ثابت 16 سانتی‌متر (اعداد فرود $0/18$ ، $0/2$ ، $0/22$ ، $0/24$ و $0/26$) در شرایط آب زلال استفاده شد. زاویه صفحات مثلثی نسبت به ساحل بالادست برابر 30 درجه و طول موثر آنها (فاصله نوک سازه در بستر از ساحل) نیز برابر 20% عرض فلوم اختیار شد. فاصله بین صفحات 4 برابر طول موثر سازه ($4Le$) انتخاب گردید. از ماسه طبیعی با دانه بندی یکنواخت ($\sigma < 1/3$ mm) و $d_{50} = 0/7$ mm بعنوان رسوبات بستر استفاده شد. آزمایش‌هایی نیز با آبشکن‌های مستطیلی بعنوان آزمایش‌های شاهد و به منظور مقایسه عمق آبشستگی در پیرامون صفحات مثلثی با آبشکن‌های مستطیلی انجام شد. زاویه و طول

ملایم 90 درجه را مطالعه کردند. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن بود که، استفاده از تیغه افقی در بین صفحات سبب کاهش بیشینه عمق آبشستگی در پنجه صفحات و مانع از گسترش آن تا ساحل بیرونی شده است. بطور متوسط، استفاده از تیغه افقی 70 درصد بیشینه عمق آبشستگی را در پنجه صفحات کاهش داد. تحقیقات انجام شده توسط بهرامی یاراحمدی و شفاعی بجستان (2016 الف) نشان داد که میزان بیشینه عمق آبشستگی و حجم رسوب فرسایش یافته در پیرامون صفحات مثلثی بترتیب 49 و 44 درصد کمتر از آبشکن‌های مستطیلی می‌باشد.

مطالعات اخیر نشان داده است که صفحات مثلثی نسبت به آبشکن‌های مستطیلی دارای عمق آبشستگی کمتری در دماغه و میزان رسوبگذاری بیشتری در ساحل می‌باشند. از طرف دیگر با توجه به اینکه در رابطه با عملکرد این سازه در مسیرهای مستقیم تاکنون مطالعه‌ای انجام نشده است، این تحقیق صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر بر پدیده آبشستگی حول صفحات مثلثی و آبشکن مستطیلی با رابطه ذیل مشخص می‌گردد:

$$ds = f(B, S_0, Le, \alpha, S_f, Y, Q, g, \rho, \mu, d_{50}, \sigma) \quad [1]$$

در رابطه فوق ds بیشینه عمق آبشستگی، B عرض فلوم، S_0 شیب طولی کف فلوم، Le طول موثر سازه (فاصله نوک سازه در بستر از ساحل)، α زاویه سازه نسبت به ساحل بالادست، S_f پارامتر معرف شکل سازه Y عمق جریان در بالادست، Q دبی جریان، g شتاب ثقل، ρ جرم واحد حجم مایع، μ لزوجت دینامیکی مایع، d_{50} اندازه متوسط مصالح بستر، σ ضریب انحراف استاندارد رسوبات بستر، می‌باشد.

با استفاده از تئوری باکینگهام پارامترهای بی‌بعد استخراج گردید. پس از حذف پارامترهای ثابت و پارامترهای کم اهمیت، در نهایت رابطه زیر برای

شکل ۲ (الف الی ه) الگوی توپوگرافی بستر را در محدوده صفحات مثلثی برای شرایط مختلف جریان را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود در همه آزمایش‌ها حفره آبشستگی در پنجه صفحات مثلثی به وجود آمده است و با افزایش عدد فرود جریان، به علت ازدیاد سرعت جریان و قدرت گردابه‌های مخرب، ابعاد حفره آبشستگی افزایش یافته است. عمیق‌ترین حفره آبشستگی در نزدیکی نوک سازه رخ داده و در بالا دست و پایین دست آن توسعه یافته است. در همه آزمایش‌ها عمق آبشستگی در نوک اولین سازه بیش از دیگر سازه‌ها بود. شکل ۲-الف توپوگرافی بستر در آزمایش با کمترین عدد فرود جریان را نشان می‌دهد. با دقت در شکل ملاحظه می‌گردد که ابعاد حفره آبشستگی در محل پنجه صفحات مثلثی کم می‌باشد از اینرو مقدار رسوب کمتری در ساحل پایین دست ترسیب شده است. در شکل ۲-ب عدد فرود جریان افزایش یافته و عمق آبشستگی، مخصوصاً در سازه اول بیشتر شده است. عمق آبشستگی در نوک دومین و چهارمین صفحه مثلثی کمتر است، به این دلیل که جریان با سرعت زیاد توسط صفحات بالادست به میانه مجرا منتقل شده است. با افزایش عدد فرود جریان ابعاد چاله آبشستگی بزرگتر می‌شود (شکل ۲-ج، د، ه). شکل ۲-ه که مربوط به عدد فرود ۰/۲۶ است نشان می‌دهد که چاله آبشستگی در محل پنجه اولین صفحه مثلثی بزرگترین ابعاد را دارد به گونه‌ای که تا ساحل گسترش یافته است در صورتیکه آبشستگی در نوک سایر سازه‌ها رخ نداده است.

مشاهدات بصری با تزریق ماده رنگی نشان داد که صفحات مثلثی باعث انحراف جریان از ساحل به میانه مجرا می‌شوند که این امر موجب فرسایش بستر شد. در همه آزمایش‌ها رسوبات حاصل از فرسایش نوک صفحات، در بین سازه‌ها و چسبیده به ساحل ترسیب پیدا کردند. در اعداد فرود بالا رسوبگذاری‌ها از ساحل به سمت مرکز توسعه عرضی داشته و به پای دماغه سازه‌های بعدی رسیده و حفره آبشستگی آنها را

موثر آبشکن‌های مستطیلی برابر با صفحات مثلثی اختیار شد. در آزمایش‌های شاهد از دبی‌های ۲۰، ۲۲ و ۲۵ لیتر بر ثانیه به ازای عمق ثابت ۱۶ سانتی‌متر (اعداد فرود ۰/۱۸، ۰/۲ و ۰/۲۲) استفاده شد. در آزمایش‌های مربوط به آبشکن‌های مستطیلی، آبشستگی در دماغه سازه به ازای دو عدد فرود ۰/۲۴ و ۰/۲۶ به کف فلوم می‌رسید بنابراین برای آبشکن‌های مستطیلی از نتایج سه عدد فرود ۰/۱۸، ۰/۲ و ۰/۲۲ استفاده شد.

نحوه انجام آزمایش‌ها بدین ترتیب بود که پس از نصب سازه، بستر رسوبی کاملاً صاف و تسطیح می‌گردید و با استفاده از متر لیزری با دقت یک میلی متر توپوگرافی بستر برداشت می‌شد تا پس از انجام آزمایش بتوان مقادیر رسوبگذاری و فرسایش را به طور دقیق تعیین کرد. پیش از راه اندازی پمپ، دریچه انتهایی فلوم بسته می‌شد و سپس آب به آرامی به درون کانال هدایت می‌گردید. پس از بالا آمدن سطح آب در فلوم و اطمینان از عدم فرسایش رسوبات در شروع آزمایش، پمپ با دبی کم راه اندازی می‌شد و به آرامی توسط شیر فلکه اصلی، دبی به میزان مورد نیاز تنظیم می‌گردید. با تنظیم دقیق و همزمان شیر فلکه و دریچه پایین دست، عمق جریان (۱۶ سانتی‌متر) و دبی مورد نظر حاصل می‌شد. این شرایط برای مدت ۱۸۰ دقیقه ثابت نگه داشته می‌شد. در پایان آزمایش پمپ خاموش می‌گردید و آب موجود در کانال، در حالیکه دریچه انتهایی بسته بود، به آرامی زهکشی می‌شد تا تاثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد شده نگذارد. پس از تخلیه کامل آب درون فلوم، توپوگرافی بستر شکل گرفته در محدوده سازه‌ها به وسیله متر لیزری با دقت ۱ میلی متر برداشت می‌شد.

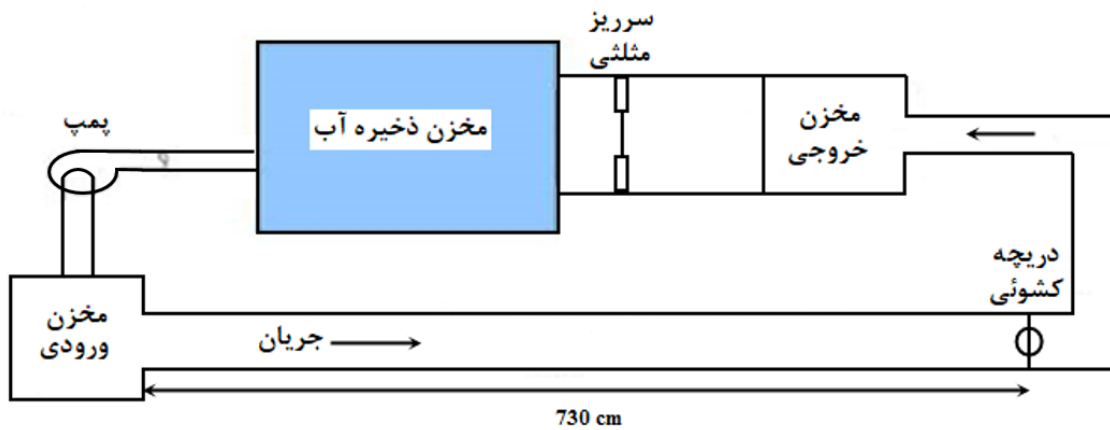
نتایج و بحث

الگوی توپوگرافی بستر در محدوده سازه‌ها

به منظور بررسی تغییرات توپوگرافی بستر در محدوده سازه‌ها، پروفیل بستر توسط متر لیزری برداشت گردید و با استفاده از نرم افزار surfer الگوی آن ترسیم شد.

یاراحمدی و شفاعی بجستان (۲۰۱۴، ۲۰۱۵ الف، ۲۰۱۵ ب، ۲۰۱۶ ب) و همچنین بویان و همکاران (۲۰۱۰) که در قوس‌ها انجام شدند، مطابقت دارد.

پُر کرده است. این نوع ترسیب رسوبات، یک مزیت برای صفحات مثلثی است زیرا باعث ایجاد ساحل جدید و همچنین پُر شدن چاله آبستگي سازه‌های پائین دست می‌شود. نتایج فوق الذکر با نتایج تحقیقات بهرامی



الف- پلان فلوم مستقیم آزمایشگاهی

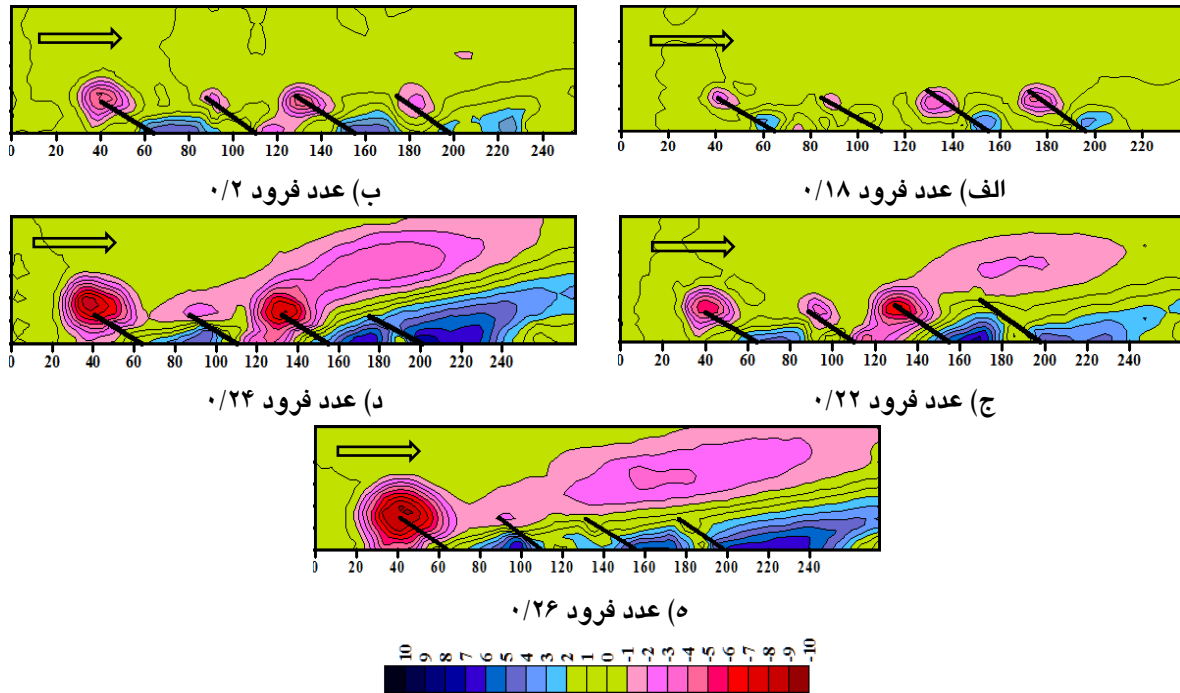


ب- نمایی از صفحات مثلثی



ج- نمایی از آبشکن‌های مستطیلی

شکل ۱- نمایی از فلوم و همچنین صفحات مثلثی و آبشکن‌های مستطیلی مورد استفاده در این تحقیق.



شکل ۲- تغییرات توپوگرافی بستر (بر حسب سانتی‌متر) در اطراف صفحات مثلثی به ازای اعداد فرود مختلف.

مثلثی بزرگتر و عمیق‌تر باشند. با مقایسه شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود که میزان ترسیب رسوب در ساحل توسط آبشکن‌های مستطیلی کمتر از صفحات مثلثی است که این بیان‌کننده توانایی بیشتر صفحات مثلثی نسبت به آبشکن‌های مستطیلی در ایجاد ساحل جدید می‌باشد.

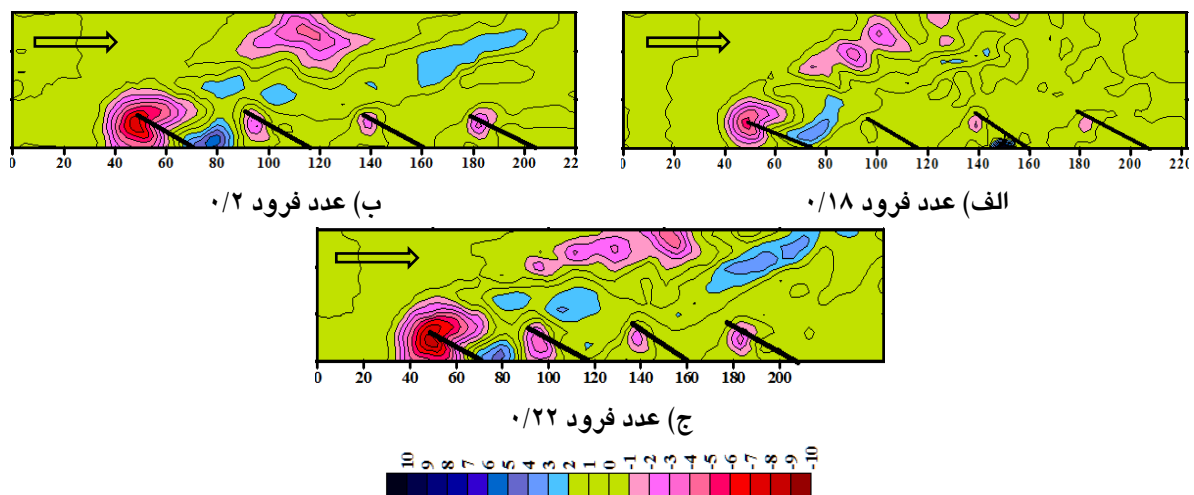
ابعاد چاله آبشستگی

برخورد جریان به بدنه بالادست سازه و تشکیل گردابه‌های مخرب از یک طرف و افزایش تنش برشی در محدوده سازه‌ها، بدلیل کاهش مقطع عبور جریان، از طرف دیگر موجب وقوع فرسایش موضعی و تشکیل چاله آبشستگی در دماغه سازه‌ها می‌گردد. یکی از شاخص‌های مهم در تعیین مشخصات چاله آبشستگی و پیش‌بینی موقعیت و گسترش آن، بیشینه عمق آبشستگی است. بررسی‌ها نشان داد که در آزمایش‌های مربوط به صفحات مثلثی و آبشکن‌ها، آبشستگی اکثراً در دماغه سازه اول از شدت بیشتری برخوردار بود و در اکثر

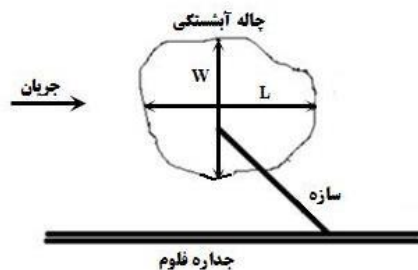
در شکل ۳ (الف الی ج) تغییرات توپوگرافی بستر در محدوده آبشکن‌های مستطیلی به ازای اعداد فرود مختلف نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در همه آزمایش‌ها بزرگترین چاله آبشستگی در اطراف آبشکن اول تشکیل شده است. بیشینه عمق آبشستگی در آبشکن اول نسبت به آبشکن‌های بعدی بیشتر بود و به طرف پایین دست از میزان بیشینه عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها کاسته شد زیرا در سری آبشکن‌ها، برخورد جریان به آبشکن اول و انحراف آن به سمت میانه مجرا باعث می‌شود که حمله جریان به مقدار کمتری متوجه دماغه آبشکن‌های بعدی شود. مشاهدات بصری با تزریق ماده رنگی نشان داد که در آبشکن‌های مستطیلی تمام جریان نزدیک شونده به سازه از جلوی دماغه آبشکن بطرف میانه مجرا منحرف می‌شد در صورتیکه در صفحات مثلثی بخشی از جریان از جلوی دماغه و بخشی دیگر از روی تاج سازه بطرف میانه فلوم منحرف می‌گردید که این امر باعث شد چاله‌های آبشستگی آبشکن‌های مستطیلی در مقایسه با صفحات

صفحات مثلثی، با افزایش عدد فرود جریان از ۰/۱۸ تا ۰/۲۶ طول، عرض و عمق چاله آبستنگی بترتیب ۳، ۱/۸ و ۲/۷ برابر افزایش می‌یابد. در آبشکن‌های مستطیلی نیز با افزایش عدد فرود جریان از ۰/۱۸ تا ۰/۲۲ طول، عرض و عمق چاله فرسایشی بترتیب ۱/۷ و ۱/۳ و ۱/۶ برابر بزرگتر می‌گردد. علاوه بر این شکل‌های ۵ الی ۷ نشان می‌دهند که، ابعاد هندسی چاله آبستنگی در آبشکن‌های مستطیلی بزرگتر از صفحات مثلثی می‌باشد بگونه‌ای که بطور متوسط طول و عمق چاله آبستنگی در آبشکن‌های مستطیلی به ترتیب ۱/۳ و ۱/۵ برابر در صفحات مثلثی است و عرض چاله آبستنگی در هر دو سازه تقریباً برابر می‌باشند.

آزمایش‌ها بیشینه عمق آبستنگی در دماغه سازه اول اتفاق افتاد به همین دلیل چاله آبستنگی اطراف این سازه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۴ چاله آبستنگی و مشخصات هندسی آن شامل طول و عرض چاله بصورت شماتیک نشان داده شده است. در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ تاثیر تغییرات عدد فرود جریان بر توسعه چاله آبستنگی سازه اول در طول (L/Y)، عرض (W/Y) و عمق (ds/Y) برای اعداد فرود ۰/۱۸، ۰/۲ و ۰/۲۲ نشان داده شده است. با دقت در شکل ملاحظه می‌گردد که با ازدیاد عدد فرود جریان، بدلیل افزایش سرعت جریان و در نتیجه تنش برشی بستر و همچنین ازدیاد قدرت گردابه‌های مخرب در پیرامون سازه‌ها، ابعاد چاله آبستنگی افزایش می‌یابد. در



شکل ۳- تغییرات توپوگرافی بستر (بر حسب سانتی‌متر) در اطراف آبشکن‌های مستطیلی به ازای اعداد فرود مختلف.

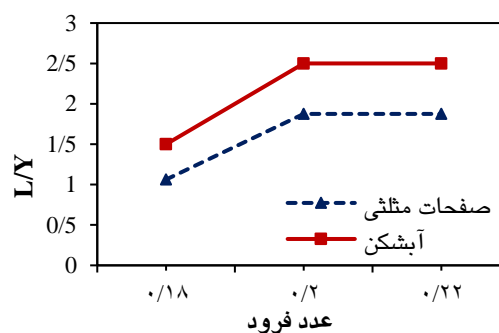


شکل ۴- نمایش ابعاد هندسی چاله فرسایشی.

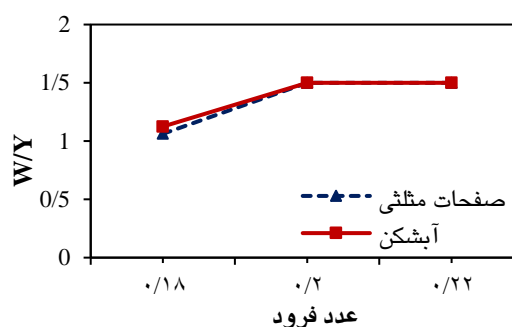
در شکل ۸ تغییرات فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل در برابر عدد فرود جریان ارائه شده است. در این شکل محور افقی نشان دهنده تغییرات عدد فرود جریان و محور قائم بیان کننده تغییرات فاصله بیشینه عمق آبشستگی نسبت به طول موثر آبشکن (S/Le) از ساحل می‌باشد. در صفحات مثلثی به ازای اعداد فرود ۰/۱۸ الی ۰/۲۲، فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل ثابت و برابر ۱/۲ برابر طول موثر سازه ($1.2Le$) است. در آبشکن‌های مستطیلی با افزایش عدد فرود جریان، فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل دارای روند کاهشی می‌باشد و به ساحل نزدیکتر می‌شود. در آبشکن‌های مستطیلی، بطور متوسط فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل ۰/۸۵ برابر طول موثر سازه ($0.85Le$) است. بنابراین بیشینه عمق آبشستگی در صفحات مثلثی به میزان حدود ۴۰٪ بیشتر نسبت به آبشکن‌های مستطیلی از ساحل فاصله دارد که این یک مزیت برای صفحات مثلثی محسوب می‌شود.

در تحقیق بهرامی یاراحمدی و شفاعی بجستان (۲۰۱۶ الف) بر روی صفحات مثلثی در قوس ملایم ۹۰ درجه، بیشینه عمق آبشستگی بطور متوسط برابر ۰/۵۵ برابر طول موثر سازه محاسبه شد در حالی که در تحقیق حاضر برابر ۰/۴۴ برابر طول موثر سازه می‌باشد. در هر دو تحقیق طول موثر صفحات مثلثی معادل ۲۰ درصد عرض فلوم و زاویه آنها نسبت به ساحل بالادست برابر ۳۰ درجه می‌باشد. مهمترین علت بیشتر بودن بیشینه عمق آبشستگی اطراف صفحات مثلثی شکل، در قوسها نسبت به مسیر مستقیم تشکیل جریان ثانویه در قوسها و برخورد آن به سازه می‌باشد.

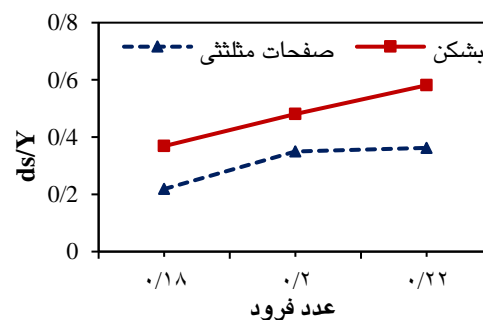
نتیجه گیری کلی



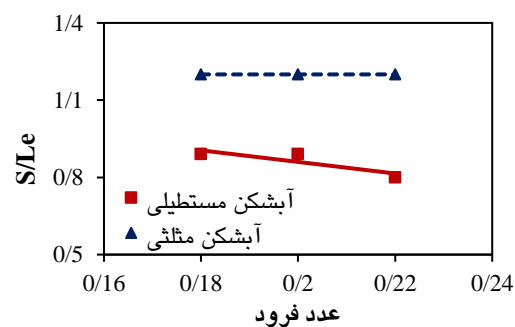
شکل ۵- تغییرات طول چاله آبشستگی در برابر عدد فرود جریان برای صفحات مثلثی و آبشکن‌های مستطیلی.



شکل ۶- تغییرات عرض چاله آبشستگی در برابر عدد فرود جریان برای صفحات مثلثی و آبشکن‌های مستطیلی.



شکل ۷- تغییرات بیشینه عمق آبشستگی در دماغه سازه اول برای صفحات مثلثی و آبشکن‌های مستطیلی به ازای اعداد فرود مختلف.



شکل ۸- تغییرات فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل به ازای اعداد فرود متفاوت.

- به طور خلاصه نتایج تحقیق حاضر به شرح زیر است:
 - در سری صفحات مثلثی رسوبات ناشی از آبشستگی به پائین دست منتقل و مابین صفحات و چسبیده به ساحل نهشته شدند. با افزایش عدد فرود جریان میزان آبشستگی و در نتیجه مقدار رسوبگذاری ازدیاد یافت. رسوبات منتقل شده از سازه اول به چاله آبشستگی صفحات پائین دست وارد شدند که این امر موجب کاهش بیشینه عمق آبشستگی اطراف سازه‌های پائین دست نسبت به سازه اول شد.
 - در سری آبشکن‌های مستطیلی رسوبات شسته شده از دماغه آبشکن‌های بالادست مابین آبشکن‌ها ترسیب نیافتند و بیشتر به میانه رودخانه منتقل شدند. میزان ترسیب رسوب در بین آبشکن‌های مستطیلی نسبت به صفحات مثلثی کمتر بود.
 - در صفحات مثلثی و آبشکن‌های مستطیلی، با افزایش عدد فرود جریان بیشینه عمق آبشستگی در اطراف اولین سازه ازدیاد یافت بطوریکه بیشینه عمق فرسایش در صفحات مثلثی و آبشکن‌های مستطیلی به ازای تغییر عدد فرود جریان از ۰/۱۸ تا ۰/۲۲، بترتیب ۱/۵ و ۱/۶ برابر افزایش پیدا کرد.
 - در صفحات مثلثی بیشینه عمق آبشستگی پیرامون سازه اول در اعداد فرود ۰/۱۸، ۰/۲، ۰/۲۲، ۰/۲۴ و ۰/۲۶ به ترتیب ۲۲٪، ۳۵٪، ۳۶٪، ۵۵٪ و ۵۹٪ عمق جریان و برای آبشکن‌های مستطیلی در اعداد فرود ۰/۱۸، ۰/۲۰ و ۰/۲۲ به ترتیب ۳۷٪، ۴۸٪ و ۵۸٪ عمق جریان می‌باشد.
- بیشینه عمق آبشستگی پیرامون سازه اول در صفحات مثلثی به ازای اعداد فرود ۰/۱۸، ۰/۲ و ۰/۲۲ بترتیب ۴۱، ۲۷ و ۳۸ درصد نسبت به آبشکن‌های مستطیلی کاهش یافت.
- فاصله بیشینه عمق آبشستگی از ساحل در صفحات مثلثی به ازای اعداد فرود ۰/۱۸ الی ۰/۲۲، ۱/۲ برابر طول موثر سازه (1.2Le) محاسبه شد در حالیکه در آبشکن‌های مستطیلی ۰/۸۵ برابر طول موثر سازه (0.85Le) بود.
- تغییرات عرض حفره آبشستگی در اولین آبشکن و برای هر دو شکل آبشکن‌ها یکسان است و حداکثر ۱/۵ برابر عمق جریان است. در حالیکه طول حفره در آبشکن مستطیلی تقریباً ۲/۵ برابر عمق جریان و همین بعد در آبشکن مثلثی ۱/۷ برابر عمق جریان است.
- بطور متوسط طول چاله آبشستگی در آبشکن‌های مستطیلی ۱/۳ برابر صفحات مثلثی بود و عرض چاله آبشستگی در هر دو سازه تقریباً برابر و معادل ۱/۵ برابر عمق جریان بدست آمدند.

تشکر و قدردانی

این مطالعه مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول و با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم انجام شده است. بدینوسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (۹۵/۳/۰۲/۳۱۴۰۰) در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Abbaspoor M, Vaghefi M and Ghodsian M, 2010. Study the effect of submergence ratio of T-shaped spur dikes located in a 90 degree bend on bed topography. 09th Iranian Hydraulic Conference. Tarbiat Modares University. (in Persian)
- Alizadeh Armaki H, Ghodsian M, Vaghefi M and Khosravi M, 2015. Experimental investigation of flow and scour pattern around submerged attracting and repelling T head spur dike. Modares Civil Engineering Journal 15: 137–148. (in Persian)
- Anonymous, 2008. Guide line for erosion and sedimentation studies in river Training. Management and Planning Organization of Iran, Publication No. 383.
- Bahrami Yarahmadi M and Shafai Bejestan M, 2014. Bed topography variations in a 90° mild bend due to wedge-shaped spur dike. Modares Civil Engineering Journal 14(3): 165–175. (in Persian)

- Bahrami Yarahmadi M and Shafai Bejestan M, 2015a. Study of the effect of effective length variations of triangular-shaped vanes on erosion and sedimentation pattern in a 90° mild bend. *Journal of Civil Engineering* 27(1): 87–100. (in Persian)
- Bahrami Yarahmadi M and Shafai Bejestan M, 2015b. The effect of triangular vanes in a 90 degree mild bend on bed topography". *Journal of Civil and Environmental Engineering* 45.3(80): 80–90. (in Persian)
- Bahrami Yarahmadi M and Shafai Bejestan M, 2016a. Comparison of erosion and sedimentation patterns facilitated by a spur dike and a triangular-shaped vane structures in a 90° mild bend under the influence of different Froude numbers. *Journal of Management System* 8(27): 31–42. (in Persian)
- Bahrami Yarahmadi M and Shafai Bejestan M, 2016b. Sediment management and flow patterns at river bend due to triangular vanes attached to the bank. *Journal of Hydro-environment Research* 10: 64–75.
- Bahrami Yarahmadi M, Shafai Bejestan M and Mousavi Jahromi SH, 2015. The effect of combination of footing and triangular weirs on bed topography in a 90° mild bend. *Journal of Irrigation Science and Engineering* 38(3): 37–49. (in Persian)
- Bhuiyan F, Hey RD and Wormleaton PR, 2010. Bank-attached vanes for bank erosion control and restoration of river meanders. *Journal of Hydraulic Engineering* 136(9): 583-596.
- Divsalar I and Mousavi Jahromi SH, 2014. Investigation of the effect of increasing the wing length of the L-shape spur dike on the scouring around in the 90 degree bend. *Journal of Irrigation Science and Engineering* 37(3): 53–61. (in Persian)
- Gill MA, 1972. Erosion of sand beds around spur dikes. *Journal of the Hydraulics Division* 98(9): 1587-1602.
- Hey RD, 1992. River mechanics and habitat creation. Pp. 271-285. In: O’Gardy KT, Butterworth AJB, Spillett RP and Domaniewski JCJ (eds). *Fisheries in the year 2000*. Institute of Fisheries Management, Nottingham, U.K.
- Hey RD, 1994. Restoration of gravel bed rivers: principles and practice. Pp. 157-173. In: Shrubsole D (ed). *Natural Channel Design: Perspective and Practice*. Canadian Water Resources Association, Cambridge, Ontario, Canada.
- Hey RD, 1996. Environmentally sensitive river engineering. Pp. 80-105. In: Petts G and Calow P (eds). *River Restoration*. Blackwell Science, Oxford, U.K.
- Hosseini A, Habibi M and Saberi E, 2004. Technical and economic evaluation of spurs constructed on Zanjanrood river. Research project, Institute of Soil Conservation and Watershed Management, Tehran, Registration No. 83/26.
- Hoseinzade Tabrizi H, Vaghefi M and Ghodsian M, 2014. Effect of Froude number on flow pattern and scour around T-shaped spur dikes under submerged and unsubmerged condition. *Modares Civil Engineering Journal* 14(3): 71–82. (in Persian)
- Ibrahim MM, 2014. Local bed morphological changes due to oriented groins in straight channels. *Ain Shams Engineering Journal* 5(2): 333–341.
- khalaj M and Gohari S, 2019. Experimental investigation of hockey groyne length, on scouring at straight channel. *Water and Soil Science-University of Tabriz* 29(3):79-95. (in Persian)
- Kuhnle RA, Alonso V and shields FD, 1999. Geometry of scour holes as associated with 90 degree spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 125(9): 972-978.
- Melville BW, 1992. Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering* 118 (4): 615-631.
- Mousavi B, Sanei M, Salajegheh A and Motamedvaziri B, 2010. Laboratory investigation of the position of spur dike to reduce stream bank erosion. 09th Iranian Hydraulic Conference. Tarbiat Modares University. (in Persian)
- Rosgen DL, 2006. *The Cross Vane, W-Weir and J-Hook Structures: Description, Design and Application for Stream Stabilization and River Restoration*. Wildland Hydrology, Inc. 11210 N. County Road 19 Ft. Collins, Colorado.
- Sanei M, 2007. Laboratory model of effect of time and obstruction percentage on local scour. 06th Iranian Hydraulic Conference. Shahrekord University. (in Persian)
- Shields FD, 1983. Design of habitat structures for open channels. *Journal of Water Resources Planning and Management* 109(4): 331–344.
- Vaghefi M, Ghodsian M and Salehi Neyshabouri SAA, 2012. Experimental study on scour around a T-shaped spur dike in a channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering* 138(5): 471-474.

- Yasi M, 1999. Study of the properties of flow and bed topography around the spur dike. 05th River Engineering Conference. Shahid Chamran University of Ahvaz. 205-216. (in Persian)
- Yun L, Baomin W and Yongqiang L, 2012. Research on application of removable non-rescue submerged groins in lower Yellow river training works. *Procedia Engineering* 28: 781–785.
- Zhang H, Nakagawa H and Mizutani H, 2012. Bed morphology and grain size characteristics around a spur dyke. *International Journal of Sediment Research* 27(2): 141-157.
- Zhicong C, Pengfei H and Xiang D, 2008. Turbulence intensity measurement in the backflow region around a spur dike. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)* 12: 2053-2056.