

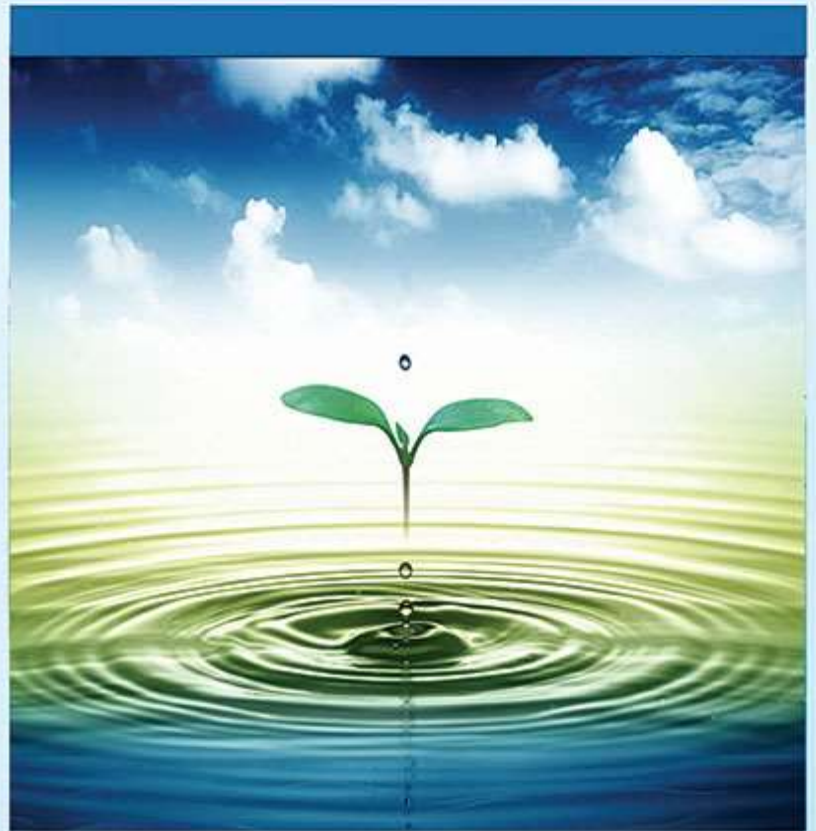
بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مثلثی شکافدار بر تغییرات بستر آبراهه‌ها
محسن درستی، محمد محمودیان شوشتری و احمد فتحی

دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صفحات ۹۴-۱۰۸

Vol. 3(1), Spring 2017, 94 - 108

**Experimental Investigation on the Effect
of Slotted Triangular Vanes on Channels
Bed Variation**

Dorosti M., Mahmoodian
Shoshtari M. and Fathi A.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

نحوه ارجاع به این مقاله: درستی م.، محمودیان شوشتری م. و فتحی ا. (۱۳۹۶). بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مثلثی شکافدار بر تغییرات بستر آبراهه‌ها. محیط‌زیست و مهندسی آب، جلد ۳، شماره ۱، صفحات: ۹۴-۱۰۸.

How to cite this paper: Dorosti M., Mahmoodian Shoshtari M., and Fathi A. (2017). Experimental investigation on the effect of slotted triangular vanes on channels bed variation. J. Environ. Water Eng., 3(1), 94 -108.

بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مثلثی شکاف‌دار بر تغییرات بستر آبراهه‌ها

محسن درستی^{۱*}، محمد محمودیان شوشتری^۲ و احمد فتحی^۳

^۱ کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

^۲ استاد بازنشسته گروه عمران، دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

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

* نویسنده مسئول: mohsendrosti@yahoo.com

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۱۱/۰۷]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۱۲/۲۵]

چکیده

تحقیقات نشان داده است که سازه‌های زیست‌محیطی در زمینه هزینه، اجرا، نگهداری، تعمیر و کارایی محیط‌زیست و کمک به حفظ سواحل در رودخانه‌های مئاندری نسبت به سازه‌های جایگزین نظیر پوشش سنگچین و آبشکن‌ها عملکرد بهتری دارند. صفحات مثلثی شکاف‌دار از جمله سازه‌های زیست‌محیطی است. این مطالعه با هدف بررسی اثر صفحات مثلثی شکاف‌دار بر تغییرات بستر آبراهه‌های رسوبی در فلوم قوسی ۹۰ درجه با نسبت $(R/B=4)$ و R و B به ترتیب شعاع قوس و عرض فلوم) انجام شد. بدین منظور آزمایش‌ها با سه فاصله چهار، شش و هشت برابر طول مؤثر (Le) در اعداد فرود ۰/۲۸۷، ۰/۳۰۴ و ۰/۳۲۲ و در شرایط آب زلال انجام گردید. مصالح بستر از جنس ماسه با قطر متوسط (d_{50}) معادل ۱/۵ میلی‌متر و ضریب انحراف معیار هندسی (σ) معادل ۱/۲۲ انتخاب شد. زاویه صفحات نسبت به ساحل بالادست ثابت در نظر گرفته شد. در پایان آزمایش‌ها توپوگرافی بستر و اطلاعات لازم برداشت شد. نتایج نشان داد که با تعبیه صفحات به قوس خارجی فلوم، در دماغه‌ی صفحات آبشستگی موضعی رخ داد. با افزایش فاصله‌ی بین صفحات عمق آبشستگی موضعی حول دماغه‌ی صفحات افزایش یافت. به طوری که فاصله‌ی $4Le$ نسبت به فواصل $6Le$ و $8Le$ عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی موضعی حول صفحات داشت. مصالح شسته شده بستر در پشت صفحات و نزدیک به ساحل خارجی ترسیب شدند. با افزایش فاصله‌ی بین صفحات و با توجه به بیشتر شدن فضای بین صفحات، مصالح شسته شده بستر طول بیشتری از فلوم را به خود اختصاص دادند و در نتیجه بیشینه ارتفاع پشته ترسیبی کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: توپوگرافی بستر، سازه‌های زیست‌محیطی، رسوب، حفاظت سواحل

۱- مقدمه

فرسایش سواحل رودخانه‌ها خسارت‌های زیادی به زمین‌ها و تأسیسات ساحلی رودخانه و اراضی کشاورزی وارد می‌نماید. رسوبات تولیدشده با ته‌نشین شدن پشت مخازن سدها باعث کاهش عمر مفید آن‌ها می‌شوند. مسئله کنترل فرسایش سواحل رودخانه همواره از دغدغه‌های مهندسان علم رسوب بوده است. برای حفاظت ساحل رودخانه‌ها در مقابل پدیده فرسایش، روش‌های مستقیم و غیرمستقیم پیشنهاد شده‌اند. در روش‌های مستقیم با استفاده از سازه‌هایی از جمله سنگ جین^۱، گابیون^۲، لحاف بتونی، دیوار حائل بتونی ساحل خارجی رودخانه‌ها را در مقابل فرسایش مقاوم می‌کنند. در روش‌های غیرمستقیم با استفاده از سازه‌های اصلاح الگوی جریان مانند آبشکن‌ها، سرریزهای مستغرق، صفحات مستغرق و سازه‌های زیست‌محیطی^۳ جریان را از قوس بیرونی به طرف مرکز مجرا جابه‌جا کرده و بدین وسیله از ایجاد آبشستگی در محل پاشنه ساحل خارجی قوس جلوگیری می‌کنند. (Radspinner et al. (2010) با انجام تحقیقاتی از جمله مطالعه مقالات مجلات، نظرسنجی از کارکنان سازمان‌های دولتی در آمریکا و شرکت‌های خصوصی عملکرد سازه‌های زیست‌محیطی را نسبت به سازه‌های دیگر ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که سازه‌های زیست‌محیطی در زمینه هزینه، اجرا، نگهداری، تعمیر و کارایی محیط‌زیست نسبت به سازه‌های جایگزین نظیر پوشش سنگچین و آبشکن‌ها عملکرد بهتری دارند. صفحات مثلثی متصل به ساحل، از جمله سازه‌های زیست‌محیطی و روشی جدید جهت کنترل فرسایش و کمک به حفظ سواحل در رودخانه‌های مائندری هستند. این سازه‌ها از جنس چوب، فلز، بتن و یا مواردی نظیر آن ساخته می‌شوند که با زاویه کم (۲۰ تا ۳۰ درجه) نسبت به ساحل بالادست و به صورت شیب‌دار از ساحل تا بستر رودخانه به گونه‌ای که مستغرق باشند احداث می‌شوند. به منظور کاهش فرسایش در قوس خارجی با استفاده از صفحات مثلثی متصل به ساحل تحقیقات کمی در داخل و خارج کشور صورت گرفته است. (Bhuiyan et al. (2009 and 2010) در یک تحقیق آزمایشگاهی جهت کنترل فرسایش انحنای رودخانه از صفحات متصل به ساحل استفاده نمودند، آن‌ها در آزمایش‌های خود از دو حالت تک‌صفحه‌ای و سری صفحات با طول مؤثر یک‌سوم عرض کانال استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد وقتی یک یا گروهی از صفحات به ساحل نصب می‌شوند چاله‌ی فرسایشی در ساحل خارجی پر می‌شود و خط‌القدر به طرف مرکز رودخانه منتقل می‌شود. همچنین تک‌صفحه‌ای که با زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به ساحل بالادست کارگذاری شد بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهد. (Badri et al. (2016) به بررسی آزمایشگاهی توپوگرافی بستر رسوبی در خم ۹۰ درجه ملایم در حضور صفحات مثلثی متصل به ساحل پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که صفحات مثلثی نسبت به آبشکن‌های مستطیلی عمق آبشستگی را به میزان ۸۰ درصد کاهش داد. (Bahrami Yarahmadi and Shafai Bajestan (2016) در تحقیقی آزمایشگاهی به بررسی فاصله بین سری صفحات متصل در شرایط هیدرولیکی متفاوت و اندازه‌گیری مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت جریان با حضور و بدون حضور تک صفحه در قوس ملایم ۹۰ درجه پرداختند. نتایج نشان داد که صفحات مثلثی با ایجاد یک جریان ثانویه پادساعت‌گرد، جریان ثانویه ساعت‌گرد اصلی در قوس را خنثی و کانال فرسایشی را از قوس خارجی به میانه فلوام جابه‌جا می‌کنند. سازه‌های زیست‌محیطی باینکه وظیفه حفاظت از ساحل خارجی را در برابر فرسایش دارد خود سازه نیز با توجه به الگوهای پیچیده جریان اطراف سازه در معرض تخریب است. ایجاد شکاف یکی از راه‌هایی است که باعث اصلاح الگوی جریان اطراف دماغه‌ی صفحات می‌شود. (Hosseini (2016) به بررسی تأثیر موقعیت شکاف (فاصله شکاف از دماغه صفحات و طول شکاف) در کاهش آبشستگی حول صفحات متصل به ساحل در مسیر مستقیم پرداخت. نتایج نشان داد که هر چه طول شکاف نسبت به تراز بستر و فاصله‌ی شکاف از دماغه بیشتر باشد، به دلیل کاهش تلاطم جریان و قدرت گرداب‌های اطراف صفحات عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. همچنین در مقایسه صفحات شکافدار با صفحات بدون شکاف نیز صفحات شکافدار عملکرد بهتری داشتند. (Dorosti et al. (2016) به بررسی اثر شکاف در سری صفحات مثلثی متصل به ساحل بر آبشستگی موضعی در قوس ملایم ۹۰ درجه پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که صفحات مثلثی شکافدار عملکرد بهتری نسبت به حالت صفحات بدون شکاف در کنترل آبشستگی

¹ Riprap

² Gabion

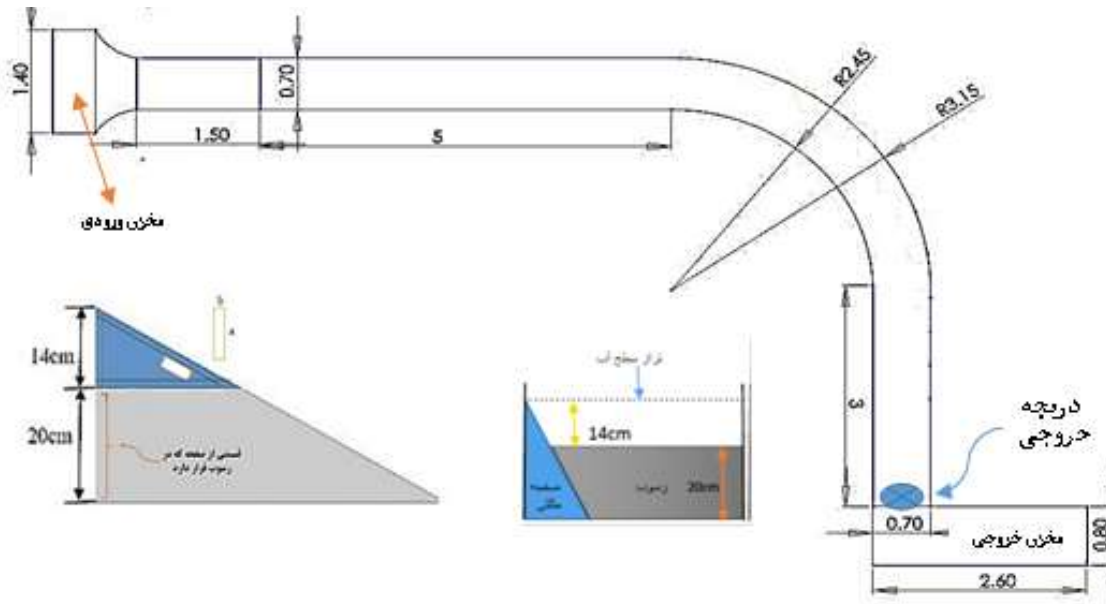
³ Instream Structures or Habitat Enhancement Structures

بستر داشته است، به طوری که میزان متوسط عمق آبشستگی پای سازه‌ها را به میزان ۲۰ درصد نسبت به حالت بدون شکاف کاهش می‌دهد. با توجه به مرور منابع صفحات مثلثی شکافدار عملکرد مناسبی در کنترل آبشستگی بستر دارند. با توجه به اینکه در رابطه بافاصله‌ی بین سری صفحات مثلثی شکافدار و تأثیر آن بر الگوی آبشستگی و رسوب‌گذاری اطلاعات اندکی موجود است در تحقیق حاضر اثر صفحات مثلثی شکافدار بر تغییرات توپوگرافی بستر رسوبی در شرایط هیدرولیکی و فواصل متفاوت در خم ۹۰ درجه ملایم بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت. از یک فلوم قوسی با دیواره پلکسی گلاس، به عرض ۷۰ سانتیمتر و با زاویه مرکزی ۹۰ درجه برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. نسبت شعاع قوس به عرض فلوم $R/B=4$ در نظر گرفته شد. طول کانال مستقیم در بالادست قوس ۵ متر و در پائین‌دست آن ۳ متر منظور شد. در انتهای فلوم یک دریچه کشویی جهت تنظیم عمق جریان قرار داشت. تنظیم دبی ورودی توسط شیرفلکه ورودی فلوم انجام می‌گرفت. میزان دبی ورودی توسط دبی سنج اولتراسونیک (مدل Digi Sonic E+) با دقت برابر ± 1 درصد اندازه‌گیری می‌شد. از ماسه با قطر متوسط (d_{50}) معادل ۱/۵ میلی‌متر و ضریب انحراف معیار هندسی (σ) معادل ۱/۲۲ به‌عنوان رسوبات بستر استفاده گردید. این ضریب تغییرات بیانگر یکنواخت بودن قطر رسوبات است. رسوبات در لابه‌ای به ضخامت ۲۰ سانتیمتر در کف فلوم گسترانیده شد.



شکل ۱- پلان فلوم قوسی، صفحه مورد استفاده و نحوه قرارگیری آن‌ها درون رسوب ماسه‌ای (اندازه‌ها برحسب متر)

۲-۲- مشخصات سازه‌ها

صفحات مورد استفاده در این تحقیق، به شکل مثلث از جنس پلکسی‌گلاس و به ضخامت ۴ میلی‌متر انتخاب شدند. زاویه صفحات نسبت به ساحل بالادست ۳۰ درجه، طول مؤثر (فاصله رأس صفحه مثلثی از ساحل بیرونی، که همان طول تصویر شده سازه است) در همه آزمایش‌ها ۲۰٪ عرض فلوم معادل ۱۴ سانتیمتر انتخاب شد (Bahrami Yarahmadi and Shafai Bajestan, 2016). شکاف مورد استفاده در این تحقیق به صورت مستطیلی و به موازات وتر با نسبت $a/b=4$ و a و b به ترتیب طول و عرض شکاف) با سطح

بازشدگی ۱۰ درصد مساحت کل سازه، انتخاب شد (Chiew 1992). شکل (۱) پلان فلوم مورد استفاده در این تحقیق و نحوه قرارگیری صفحات درون رسوب ماسه‌ای را نشان می‌دهد.

۲-۳- روش انجام آزمایش‌ها

در تمام آزمایش‌ها شرایط آب زلال تأمین شد (Amini et al. 2011 and 2012). در این تحقیق ابتدا محدوده‌ی فرسایشی بر اساس نظر اداره مهندسی ارتش آمریکا^۱ در قوس تعیین شد. بر این اساس در قسمت ورودی قوس، ساحل داخلی را امتداد داده تا قوس را قطع کند. محل کارگذاری اولین سازه به اندازه عرض فلوم بالاتر از نقطه تقاطع خواهد بود. محدوده محافظت شده تا یک و نیم برابر عرض فلوم پس از انتهای قوس ادامه می‌یابد (Zahiri et al. (2012). از فواصل ۴Le، ۶Le و ۸Le (طول مؤثر) برای کارگذاری صفحات مثلثی شکافدار استفاده شد. تعداد سازه‌های استفاده شده در فواصل ۴Le، ۶Le و ۸Le به ترتیب نه، شش و پنج عدد در نظر گرفته شد. در همه آزمایش‌ها موقعیت نصب اولین سازه در زاویه ۲۴ درجه از ابتدای قوس قرار داشت و آخرین سازه نیز در فاصله‌های ۴Le، ۸Le، ۸۰ سانتیمتر پایین دست انتهای قوس و در فاصله ۶Le، ۶۰ سانتیمتر پایین دست انتهای قوس تعبیه شد. شکل (۲) نحوه‌ی کارگذاری صفحات مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



ب- دید از پایین

الف- دید از بالا

شکل ۲- نحوه‌ی تعبیه صفحات مورد استفاده در فاصله‌ی ۶Le: الف- دید از بالا و ب- دید از پایین

زمان انجام هر آزمایش سه ساعت در نظر گرفته شد (Bahrami Yarahmadi and Shafai Bajestan, 2015 and 2016). برای انجام آزمایش‌ها از دبی‌های ۳۳، ۳۵، ۳۷ لیتر بر ثانیه (اعداد فرود ۰/۲۸۷، ۰/۳۰۴ و ۰/۳۲۲) با عمق ثابت ۱۴ سانتیمتر استفاده گردید. عمق آب به گونه‌ای انتخاب شد که بالاترین تراز تاج سازه (که چسبیده به ساحل بیرونی بود) و تراز آب، یکسان باشند و صفحات به حالت مستغرق باشد. صفحات متصل به ساحل معمولاً به صورت سری ساخته می‌شوند و پایداری آن‌ها بستگی زیادی به پایداری اولین صفحه دارد به علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود گرداب‌های قوی، صفحه اول تحت حمله شدید جریان قرار دارد. برای کاهش میزان تنش برشی وارد شده به صفحه اول از یک صفحه جان‌پناه^۲ مستطیلی با زاویه ۱۵۰ درجه نسبت به ساحل بالادست و

^۱ U.S. Army Corps of Engineers

^۲ Sacrifice vane

بافاصله ثابت (Le)، معادل ۵۶ سانتیمتر نسبت به اولین صفحه در موقعیت زاویه ۱۳ درجه از ابتدای قوس استفاده شده است (Dorosti et al. 2016). پس از تسطیح بستر، درحالی که درپچه کشویی انتهای فلوم به‌طور کامل بسته بود با باز کردن شیرفلکه ورودی فلوم، جریان به‌آرامی وارد فلوم شد. ورود آب به‌گونه‌ای بود که تغییری در توپوگرافی بستر ایجاد نکند. پس از بالا آمدن سطح آب، جریان به‌صورت تدریجی به دبی موردنظر افزایش یافت. سپس توسط درپچه کشویی، عمق جریان در حد موردنظر تنظیم گشت. پس از پایان یافتن مدت‌زمان آزمایش، ابتدا درپچه کشویی به‌آرامی پائین آورده شد و شیرفلکه ورودی فلوم بسته شد و اجازه داده شد تا جریان به‌صورت تدریجی خارج و بستر فلوم زهکشی شود. پس از زهکشی شدن بستر، توپوگرافی بستر شکل‌گرفته با استفاده از متر لیزری مدل (BOSH-GLM 30) با دقت یک میلی‌متر برداشت شد و درنهایت توپوگرافی بستر به‌وسیله نرم‌افزار Tecplot رسم شد. در این تحقیق برای ردیابی و مشاهده خطوط جریان از ماده رنگی و همچنین خاکاره استفاده شد. با تزریق ماده رنگی یا خاکاره در بالادست سازه‌ها به درون جریان آب نحوه‌ی تغییرات به‌وجود آمده در مسیر خطوط جریان در اطراف سازه‌ها ارزیابی و مشاهده شد.

۲-۴- تحلیل ابعادی

عوامل مؤثر بر توپوگرافی بستر حول صفحات مثلثی شکافدار در قوس با رابطه (۱) نشان داده می‌شود (Hosseini, 2016). (Bhuiyan et al. 2010) و (Bahrami Yarahmadi and Shafai Bajestan, 2015):

$$\emptyset = (Sb, B, R, \delta, Le, \lambda, \alpha, h, L, U, Uc, Y, g, \rho, \mu, d50, Gs, \sigma, a, b, c, d) \quad (1)$$

در این رابطه Sb شیب طولی کف مجرا، B عرض فلوم، R شعاع قسمت قوس فلوم، δ زاویه مرکزی قوس، λ فاصله بین صفحات، α زاویه صفحات مستغرق نسبت به ساحل خارجی، h ارتفاع صفحات مستغرق، L طول صفحات مستغرق، U سرعت متوسط جریان در بازه‌ی مستقیم بالادست، Uc سرعت آستانه حرکت رسوبات، Y عمق جریان در بازه‌ی مستقیم بالادست، g شتاب ثقل، ρ جرم واحد حجم سیال، μ ضریب لزجت دینامیکی، $d50$ قطر متوسط ذرات، Gs چگالی رسوبات، σ انحراف معیار رسوبات، a طول شکاف، b عرض شکاف، c فاصله‌ی شکاف از وتر صفحه‌ی d فاصله‌ی شکاف از نوک دماغه‌ی صفحه‌ی مستغرق تعریف شده است. با استفاده از تئوری (π باکینگهام) پارامترهای بی‌بعد استخراج شد. پس از حذف پارامترهای ثابت و پارامترهای کم‌اهمیت، در نتیجه رابطه (۲) برای بررسی اثرات متغیرهای مؤثر بر توپوگرافی بستر حول صفحات مثلثی شکل مستغرق در قوس به دست آمد:

$$\frac{\emptyset}{Y} = f(\lambda, Fr) \quad (2)$$

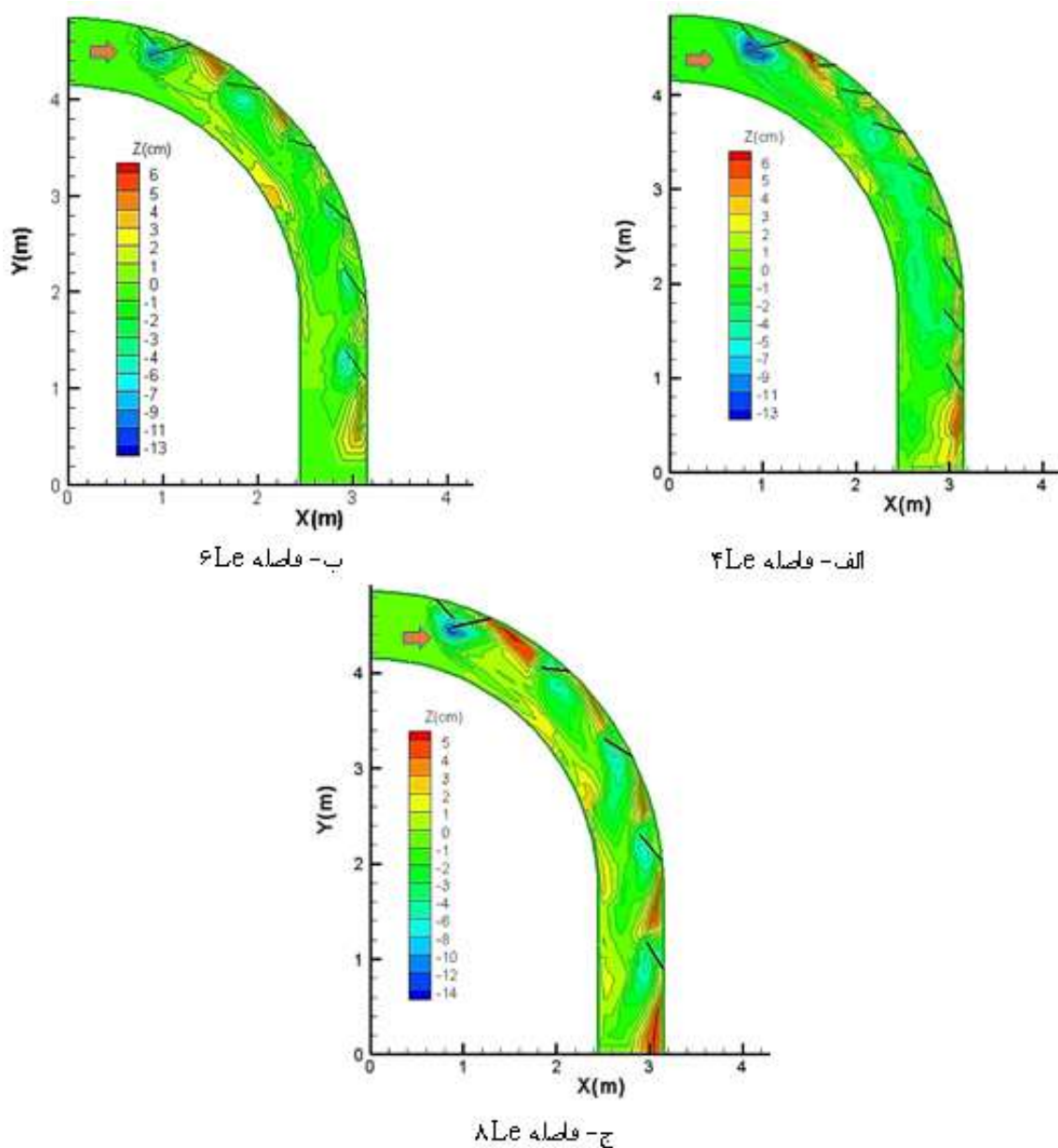
که، Fr عدد فرود در بازه‌ی مستقیم بالادست قوس، λ فاصله بین صفحات، Y عمق جریان در بازه‌ی مستقیم بالادست و پارامتر \emptyset بیانگر پارامتر آبشستگی و رسوب‌گذاری است. در این پژوهش عبارت‌اند از: متوسط اعماق آبشستگی حول دماغه‌ی سازه‌ها ($Dmean$)، تغییرات طول مؤثر (ΔLe)، حداکثر عمق آبشستگی خط‌القعر ($Dmax$)، حداکثر ارتفاع پشته گذاری ($Zmax$).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- مکانیزم آبشستگی و رسوب‌گذاری

هدف از این تحقیق مطالعه اثر فاصله بین صفحات مثلثی شکافدار می‌باشد. مشاهدات بصری (تزریق ماده رنگی و استفاده از خاکاره) نشان داد با ورود جریان به قوس، ابتدا جریان به صفحه جان‌پناه برخورد کرد و قسمتی از جریان به سمت میانه فلوم منحرف شد. قسمتی از جریان نیز به صفحه اول برخورد کرد و حول صفحه اول آبشستگی موضعی ایجاد کرد. با برخورد جریان به صفحه اول، قسمتی از جریان آب به سمت میانه فلوم هدایت و باعث به وجود آمدن فرسایش طولی در بستر رودخانه (خط‌القعر) در میانه فلوم شد. در جلوی دماغه‌ی صفحه اول نیز آبشستگی موضعی رخ داد. قسمتی از جریان نیز از درون شکاف ایجادشده عبور کرد و باعث کاهش عمق آبشستگی موضعی شد. این رخداد با نتایج (Dorosti et al. 2016) و (Hosseini 2016) مطابقت دارد. در ابتدای آزمایش آبشستگی سریع ولی باگذشت زمان از سرعت فرسایش در دماغه کاسته شد، رسوبات فرسایش یافته توسط جریان نزدیک بستر حمل شد و با توجه به جریان ثانویه پادساعت‌گرد تشکیل شده پشت صفحات رسوبات نزدیک به ساحل داخلی ترسیب یافتند و

قسمتی از رسوبات وارد محدوده‌ی صفحه‌ی دوم شدند و قسمتی از چاله‌ی آبشستگی صفحه دوم را پر کردند و با توجه به گرداب‌های تشکیل شده حول صفحه دوم نیز رسوبات جابه‌جا شدند و به پایین دست حرکت کردند و این فرآیند تا پایین دست صفحه آخر ادامه پیدا کرد. شکل (۳) نمونه‌ای از توپوگرافی بستر در صفحات شکافدار مستغرق در فواصل مختلف به ازای عدد فرود $0/۳۲۲$ را نشان می‌دهد. همان گونه که ملاحظه می‌شود به‌طور کلی اطراف دماغه همه صفحات حفره آبشستگی شکل می‌گیرد. با افزایش فاصله بین صفحات ابعاد چاله آبشستگی افزایش یافت. همچنین مشاهده می‌شود در میانه فلووم خط‌القعر تشکیل شد. با افزایش فاصله بین صفحات عمق کانال فرسایشی کاهش یافت. در تمام این شکل‌ها مصالح شسته شده به پشت صفحات و نزدیک قوس خارجی منتقل شدند و تشکیل تپه رسوبی دادند. این تپه رسوبی به‌صورت نواری است و با افزایش فاصله بین صفحات از دیواره قوس خارجی فاصله گرفت.

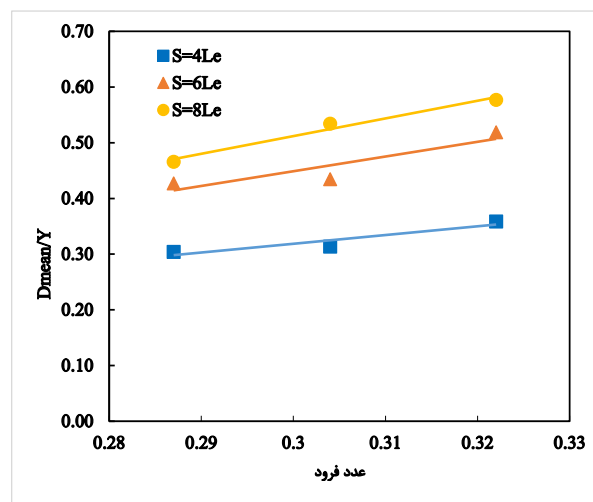


شکل ۳- توپوگرافی بستر در صفحات شکافدار در فواصل مختلف و عدد فرود $0/۳۲۲$: الف-فاصله $4L_e$ ، ب- فاصله $6L_e$ و ج- فاصله $8L_e$

۳-۲- آبشستگی موضعی

تجربیات پیشین نشان داده است که آبشستگی موضعی عامل اصلی تخریب سازه‌های محافظت‌کننده ساحل در مقابل اثر جریان است. به همین دلیل تخمین میزان آبشستگی بیشینه در طراحی سازه حائز اهمیت فراوان است. در همه آزمایش‌ها حداکثر عمق آبشستگی حول دماغه‌ی صفحات رخ داد. با توجه به پژوهش‌های Shaker et al. (2013) و Ghodsian and Vaghefi (2009) حداکثر جریان ثانویه در قوس در ابتدای قوس رخ می‌دهد.

علت افزایش قدرت جریان ثانویه در ابتدای قوس، افزایش خیزایی است که در اثر نیروی گریز از مرکز به وجود آمده و باعث به هم زدن تعادل دینامیکی در قوس می‌شود. با وجود اینکه صفحه جان‌پناه باعث منحرف شدن و کاهش قدرت جریان ثانویه در اطراف صفحه اول شد ولی در همه آزمایش‌ها حداکثر عمق آبشستگی حول صفحه اول رخ داد. همچنین پیش‌ازاین در تحقیقات Badri et al. (2016) در خم ۹۰ درجه نیز بیشترین عمق آبشستگی حول صفحه اول اتفاق افتاد. با توجه به اینکه در سری صفحات، هر صفحه تحت تأثیر آبشستگی و رسوب‌گذاری صفحه بالادست خود قرار دارد از پارامتری تحت عنوان متوسط اعماق آبشستگی حول دماغه صفحات (نسبت مجموع اعماق آبشستگی موضعی تقسیم‌بر تعداد صفحات کارگذاری شده) استفاده شد. شکل (۴) محور عمودی پارامتر بی‌بعد متوسط اعماق آبشستگی حول دماغه‌ی صفحات به عمق جریان (D_{mean}/Y)، محور افقی عدد فرود در فواصل متفاوت بین صفحات متفاوت را نشان می‌دهد.



شکل ۴ - پارامتر بی‌بعد متوسط اعماق آبشستگی حول دماغه‌ی صفحات به ازای اعداد فرود و فواصل مختلف

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود در هر عدد فرود، با افزایش فاصله بین صفحات متوسط اعماق آبشستگی حول دماغه سازه‌ها افزایش می‌یابد به طوری که در همه اعداد فرود، فاصله ۴Le نسبت به فواصل ۶Le و ۸Le عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی موضعی حول صفحات داشته است و میزان اعماق آبشستگی موضعی حول صفحات در فاصله ۴Le نسبت به فواصل دیگر کمتر به دست آمد. همچنین با دقت در شکل (۴) مشاهده می‌شود که در هر فاصله، با افزایش عدد فرود با توجه به افزایش قدرت گردابه‌های تشکیل‌شده حول صفحات، عمق و ابعاد چاله آبشستگی حول دماغه‌ی صفحات افزایش یافت. این رخداد با نتایج Badri et al. (2016) و Bahrami Yarahmadi and Shafai Bajestan (2015) از نظر کیفی همخوانی دارد. در فاصله‌ی ۴Le در عدد فرود ۰/۲۸۷ در اطراف هیچ‌یک از صفحات آبشستگی موضعی به ساحل نرسید ولی در اعداد فرود ۰/۳۰۴ و ۰/۳۲۲ در اطراف صفحه دوم

آبشستگی موضعی به ساحل رسید و بخشی از ساحل خارجی را تخریب کرد. با توجه به نتایج بدست آمده در فاصله‌ی ۴Le حفاظت از صفحه دوم ضروری به نظر می‌رسد و باید راهکاری برای حفاظت از این صفحه اندیشید. در فاصله‌ی ۶Le در عدد فرود ۰/۲۸۷ اطراف هیچ‌یک از صفحات آبشستگی موضعی به ساحل نرسید. حال آنکه در عدد فرود ۰/۳۰۴ در اطراف صفحات دوم، سوم، چهارم و ششم و در عدد فرود ۰/۳۲۲ اطراف صفحات دوم، سوم، چهارم و پنجم آبشستگی موضعی حول صفحات به ساحل برخورد و بخشی از ساحل خارجی را تخریب کرد. در این فاصله نیز حفاظت از صفحات نامبرده شده ضروری به نظر می‌رسد. در فاصله‌ی ۸Le در عدد فرود ۰/۲۸۷ آبشستگی موضعی حول صفحات به ساحل خارجی نرسید ولی در اعداد فرود ۰/۳۰۴ و ۰/۳۲۲ حول صفحات دوم و پنجم آبشستگی موضعی حول صفحات به ساحل خارجی رسید و بخشی از ساحل را تخریب کرد. در فاصله ۸Le نیز حفاظت از صفحات دوم و پنجم (صفحه آخر) ضروری به نظر می‌رسد و باید برای حل این مشکل راهکاری اندیشید. ردیابی رنگی و استفاده از خاکاره نشان داد که در فواصل ۶Le و ۸Le با توجه به افزایش فاصله بین صفحات نسبت به فاصله‌ی ۴Le، بخشی بیشتری از جریان منحرف‌شده در فاصله بین صفحات به ساحل خارجی برخورد کرد و باعث تخریب ساحل خارجی شد. تخریب ساحل خارجی با وظیفه اصلی صفحات متصل به ساحل که حفاظت ساحل خارجی در مقابل آبشستگی است منافات دارد و عملکرد نامناسب صفحات را نشان می‌دهد. در این پژوهش، طول مؤثر سازه (قبل از فرسایش) یک‌پنجم عرض فلوم (۱۴ سانتیمتر) بود. با شروع آزمایش، با توجه شکل صفحات مثلثی و در نتیجه فرسایش در بستر و حول دماغه‌ی سازه‌ها، بخشی از سازه که درون بستر ماسه‌ای قرار داشت نمایان شد و طول مؤثر اولیه افزایش یافت. با توجه به اینکه اعماق آبشستگی موضعی با افزایش فاصله افزایش پیدا کرد، در نتیجه در هر عدد فرود نیز تغییرات طول مؤثر با افزایش فاصله افزایش یافت. همچنین در هر فاصله، با افزایش عدد فرود تغییرات طول مؤثر صفحات افزایش پیدا کرد. جدول (۱) نتایج مربوط به اعماق آبشستگی موضعی اطراف صفحات و تغییرات طول مؤثر حول صفحات را به صورت عددی نشان می‌دهد.

جدول ۱- عمق آبشستگی موضعی اطراف سازه‌ها و تغییرات طول مؤثر صفحات

فاصله سازه‌ها (m)	عدد فرود (Fr)	اعماق آبشستگی (D_{mean}) (cm)	آبشستگی به عمق آب (D_{mean}/Y)	متوسط تغییرات طول مؤثر (ΔLe) (cm)	نسبت تغییرات طول مؤثر ($\Delta Le/Y$)
۰/۵۶	۰/۲۸۷	۴/۲	۰/۳	۳/۳	۰/۲۳
	۰/۳۰۴	۳/۴	۰/۳۱	۳/۴	۰/۲۴
	۰/۳۲۲	۵	۰/۳۵	۳/۶	۰/۲۶
۰/۸۴	۰/۲۸۷	۶	۰/۴۳	۴	۰/۲۹
	۰/۳۰۴	۶/۱	۰/۴۳	۵/۱	۰/۳۶
	۰/۳۲۲	۷/۲	۰/۵۱	۵/۲	۰/۳۸
۱/۱۲	۰/۲۸۷	۶/۵	۰/۴۶	۵/۴	۰/۳۹
	۰/۳۰۴	۷/۵	۰/۵۳	۶/۳	۰/۴۵
	۰/۳۲۲	۸	۰/۵۷	۶/۶	۰/۴۸

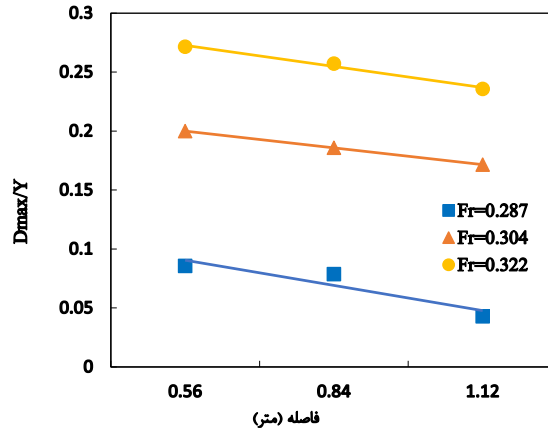
۳-۳- کانال فرسایشی

صفحات مثلثی شکافدار، باعث انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا می‌شود، این انحراف جریان به طرف میانه فلوم باعث به وجود آمدن کانال فرسایشی (خط القعر) در میانه فلوم می‌شود. شکل (۵) انحراف جریان توسط صفحات را به طور نمونه در فاصله $8Le$ با استفاده از خاکاره نشان می‌دهد. همان طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود صفحات باعث منحرف شدن جریان به وسط فلوم شدند و به این شکل باعث حفاظت ساحل خارجی در برابر جریان‌های مخرب به وجود آمده در قوس شدند

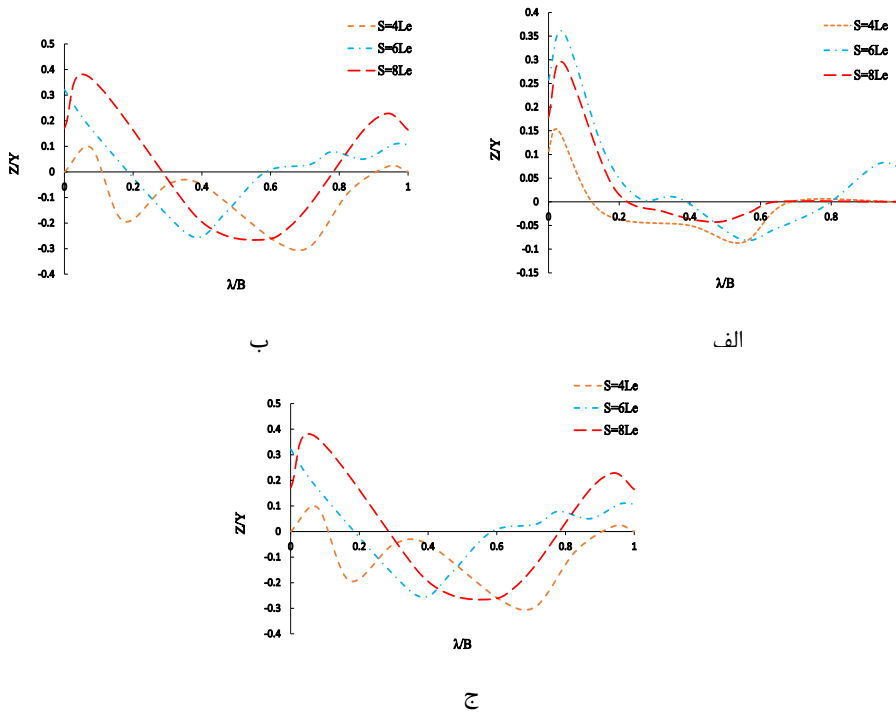


شکل ۵- نمایش منحرف شدن جریان به میانه فلوم در اطراف سری صفحات شکافدار در فاصله‌ی $8Le$ با استفاده از خاکاره

شکل (۶) حداکثر عمق آبشستگی خط القعر را در اعداد فرود و فواصل مختلف نشان می‌دهد. محور عمودی، نسبت بی بعد حداکثر عمق آبشستگی خط القعر به عمق جریان (D_{max}/Y) و محور افقی آن فاصله بین صفحات را نشان می‌دهد. شکل (۷- الف، ب و ج) نیم‌رخ عرضی حداکثر عمق آبشستگی خط القعر را به ترتیب در اعداد فرود $0/287$ ، $0/304$ و $0/322$ نشان می‌دهد. محور عمودی پارامتر بی بعد اعماق آبشستگی و رسوب‌گذاری (Z/Y) و محور عمودی پارامتر بی بعد فاصله نقاط از ساحل خارجی (X/Y) را نشان می‌دهد. ردیابی رنگی نشان داد که در فاصله‌ی $4Le$ با توجه به نزدیک بودن صفحات به هم نسبت به فواصل دیگر تمام جریان به طرف میانه مجرا منتقل می‌شود. این امر احتمالاً باعث افزایش تنش برشی در میانه فلوم شد و حداکثر عمق آبشستگی خط القعر نسبت به فواصل دیگر افزایش یافت. در فاصله‌ی $6Le$ و $8Le$ با توجه به افزایش فاصله‌ی بین صفحات، در صفحه ابتدایی جریان به میانه فلوم هدایت شد. تا رسیدن به صفحات بعدی قسمتی از جریان به سمت ساحل خارجی و قسمتی از آن به سمت میانه فلوم هدایت شد. این روند تا صفحات انتهایی ادامه یافت و باعث کاهش عمق آبشستگی خط القعر گردید.



شکل ۶- پارامتر بی بعد حداکثر عمق آبشستگی خطالقعر به ازای اعداد فرود و فواصل مختلف



شکل ۷- نیمرخ عرضی حداکثر عمق آبشستگی خطالقعر در فواصل مختلف بین صفحات و به ترتیب در اعداد فرود: الف- ۰/۲۸۷، ب-

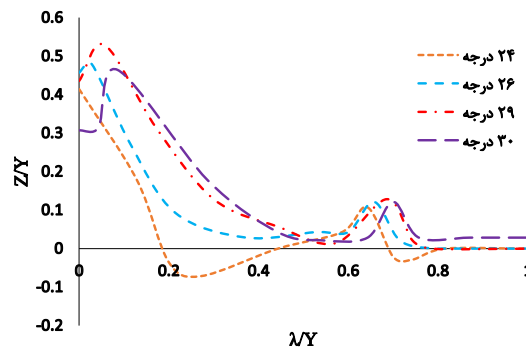
۰/۳۰۲ و ج- ۰/۳۲۲

با دقت در شکل (۶) و شکل (۷- الف، ب و ج) نیز مشاهده می شود که با افزایش فاصله بین صفحات حداکثر عمق آبشستگی خطالقعر کاهش یافت به طوری که فاصله $8Le$ کمترین مقدار و فاصله $4Le$ بیشترین مقدار حداکثر عمق آبشستگی خطالقعر را به خود اختصاص دادند. همچنین با دقت در نمودار شکل (۶) و شکل (۷- الف، ب و ج) مشاهده می شود در هر فاصله با افزایش

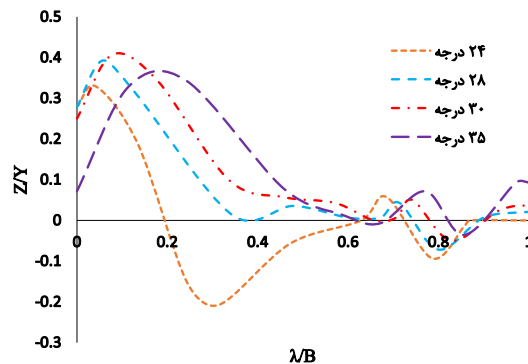
عدد فرود با توجه به افزایش قدرت گردابه‌ها در میانه فلوم حداکثر عمق آبشستگی خط‌القعر افزایش یافت. به‌طور میانگین، حداکثر عمق آبشستگی خط‌القعر در فواصل ۴Le، ۶Le، ۸Le، به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۱۷، ۰/۱۵ عمق جریان به دست آمد.

۳-۴- رسوب‌گذاری

با وجود اینکه آبشستگی موضعی اطراف صفحات عامل مخرب و باعث کاهش استحکام سازه می‌شود، ترسیب رسوبات باعث ایجاد ساحل جدید و پر کردن چاله‌ی فرسایشی در ساحل خارجی می‌گردد. رسوبات حاصل از فرسایش در پنجه سازه و نیز رسوباتی که از بالادست به سازه نزدیک می‌شوند به وسیله‌ی گرداب‌های تشکیل شده در پایین دست سازه و نزدیک به ساحل خارجی ترسیب گردید. بررسی‌ها نشان داد که بین میزان عمق آبشستگی بستر و ترسیب رسوبات رابطه‌ی مستقیم وجود دارد، به‌طوری‌که با افزایش اعماق آبشستگی بستر، حجم رسوبات ترسیب یافته نیز افزایش می‌یابد. همچنین بر روی‌ها نشان داد با توجه به اینکه در همه فواصل حداکثر عمق آبشستگی موضعی حول صفحه اول اتفاق افتاد در نتیجه حداکثر ارتفاع پشته‌گذاری نیز در پشت اولین سازه اتفاق افتاد. شکل‌های (۸) و (۹) نیم‌رخ عرضی حداکثر ارتفاع پشته‌گذاری برای مقاطع طولی بین دو سازه متوالی سازه (۱) و (۲) به ترتیب در فاصله‌های ۴Le، ۸Le، در عدد فرود ۰/۳۲۲ نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۹) در فاصله‌ی ۸Le تاج پشته ترسیبی بین دو سازه متوالی و نزدیک به سازه بالادستی، به ساحل بیرونی چسبیده‌اند و با دور شدن از سازه بالادستی، ارتفاع پشته‌ی ترسیبی افزایش یافت.

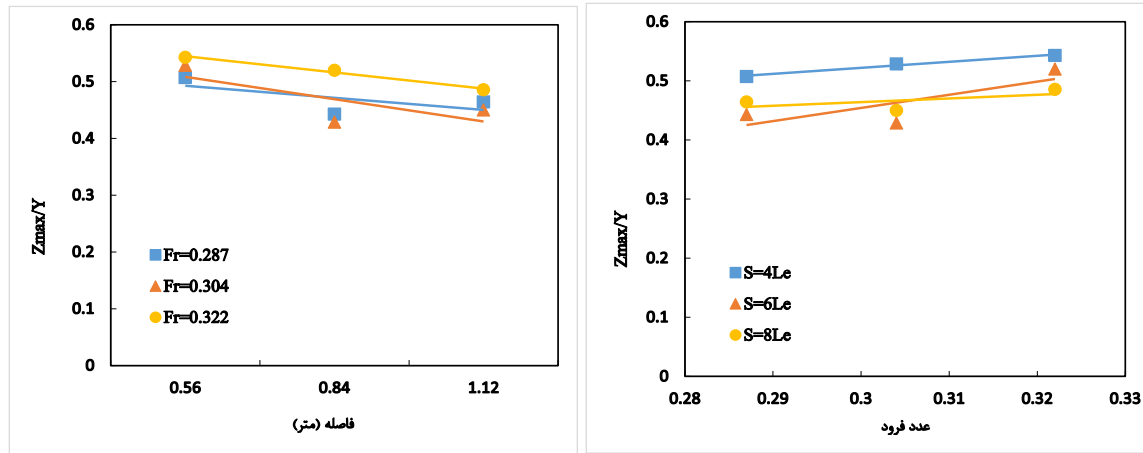


شکل ۸- نیم‌رخ عرضی پشته ترسیب یافته بین دو سازه متوالی به ازای فاصله‌ی ۴Le در عدد فرود ۰/۳۲۲



شکل ۹- نیم‌رخ عرضی پشته ترسیب یافته بین دو سازه متوالی به ازای فاصله‌ی ۸Le در عدد فرود ۰/۳۲۲

همچنین با دور شدن از سازه‌ی بالادستی فاصله‌ی آن از ساحل بیرونی بیشتر شد و یک مجرای بین تاج پشته رسوبی و ساحل بیرونی ایجاد شد. برای بررسی اثر تغییرات عدد فرود و تغییرات فاصله بر حداکثر پشته ترسیب یافته در پایین دست سازه‌ها به ترتیب شکل‌های (۱۰- الف و ب) ترسیم شد.



ب- اثر تغییرات فاصله بین صفحات

الف - اثر تغییرات عدد فرود

شکل ۱۰- پارامتر بی بعد حداکثر ارتفاع پشته گذاری به ازای فواصل و اعداد فرود مختلف: الف - اثر تغییرات عدد فرود و ب- اثر تغییرات فاصله بین صفحات

در شکل (۱۰- الف)، محور عمودی پارامتر بی بعد حداکثر ارتفاع پشته گذاری به عمق جریان (Z_{max}/Y) و محور افقی عدد فرود را در فواصل متفاوت نشان می دهد. در شکل (۱۰- ب)، محور عمودی پارامتر بی بعد حداکثر ارتفاع پشته گذاری به عمق جریان (Z_{max}/Y) و محور عمودی فاصله‌ی بین صفحات را در اعداد فرود مختلف نشان می دهد. همان طور که در (شکل ۱۰- الف) مشاهده می شود، در همه اعداد فرود حداکثر ارتفاع پشته گذاری در فاصله $4Le$ بیشترین مقدار را نسبت به فواصل دیگر به خود اختصاص داد، همچنین مشاهده می شود که در هر فاصله با افزایش عدد فرود و افزایش عمق آبشستگی موضعی حول صفحه اول، حداکثر ارتفاع پشته گذاری افزایش یافت. با دقت در شکل (۱۰- ب) نیز مشاهده می شود که در هر عدد فرود با افزایش فاصله بین صفحات با توجه به بیشتر شدن فضای بین صفحات برای ترسیب رسوبات در راستای طولی، بیشینه ارتفاع پشته گذاری افزایش یافت. به طور میانگین، حداکثر ارتفاع رسوبات ترسیب یافته در $4Le$ ، $6Le$ ، $8Le$ ، به ترتیب $0/52$ ، $0/46$ ، $0/45$ برابر عمق جریان به دست آمد.

۴- نتیجه گیری و پیشنهادها

در تحقیق حاضر به بررسی اثر فاصله بین صفحات مثلثی شکافدار متصل به ساحل بر توپوگرافی بستر در قوس ملایم 90° درجه در فواصل چهار، شش و هشت برابر طول مؤثر سازه تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت (اعداد فرود $0/287$ ، $0/302$ و $0/322$) پرداخته شد که نتایج زیر به دست آمد:

۱- در همه آزمایش‌ها حداکثر عمق آبشستگی اطراف دماغه صفحات در صفحه اول رخ داد. با افزایش فاصله بین صفحات متوسط اعماق آبشستگی حول دماغه سازه‌ها افزایش یافت. در همه اعداد فرود، فاصله $4Le$ نسبت به فواصل $6Le$ و $8Le$

عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی موضعی حول صفحات داشته است و میزان اعماق آبشستگی موضعی حول صفحات در این فاصله نسبت به فواصل دیگر کمتر به دست آمد.

۲- صفحات مثلثی شکافدار، باعث انحراف جریان از قوس بیرونی به طرف مرکز و قوس داخلی مجرا می‌شود و باعث به وجود آمدن کانال فرسایشی (خطالقعر) در میانه فلوم می‌شود. در هر عدد فرود، با افزایش فاصله بین صفحات حداکثر عمق آبشستگی خطالقعر کاهش یافت به طوری که فاصله $1Le$ کمترین مقدار حداکثر عمق آبشستگی خطالقعر و فاصله $4Le$ بیشترین مقدار حداکثر عمق آبشستگی خطالقعر را به خود اختصاص داد. در هر فاصله، با افزایش عدد فرود با توجه به افزایش قدرت گردابه‌ها در میانه فلوم حداکثر عمق آبشستگی خطالقعر افزایش یافت.

۳- بین میزان عمق آبشستگی بستر و ترسیب رسوبات رابطه مستقیم وجود دارد به طوری که با افزایش اعماق آبشستگی بستر، حجم رسوبات ترسیب یافته نیز افزایش می‌یابد. در همه اعداد فرود حداکثر ارتفاع پشته‌گذاری در فاصله $4Le$ بیشترین مقدار را نسبت به فواصل دیگر به خود اختصاص داد. همچنین در هر فاصله با افزایش عدد فرود و افزایش عمق آبشستگی موضعی حول صفحه اول، حداکثر ارتفاع پشته‌گذاری افزایش یافت. در هر عدد فرود با افزایش فاصله بین صفحات با توجه به بیشتر شدن فضای بین صفحات برای ترسیب رسوبات در راستای طولی بیشینه ارتفاع پشته‌گذاری افزایش یافت.

برای ادامه این تحقیق بررسی الگوی جریان در اطراف صفحات مثلثی شکافدار به کمک اندازه‌گیری مولفه‌های سه‌بعدی سرعت جریان و بررسی توپوگرافی بستر حول صفحات مثلثی شکافدار با تغییرات مصالح بستر و دانه‌بندی مختلف و نیز انجام تحقیق در سایر خم‌های رودخانه با زوایای متفاوت می‌تواند مورد توجه دیگر محققین قرار بگیرد.

Reference

- Amini A., Melville B., Mohd Th. and Ghazali H. (2012). Clearwater local scour around pile groups-shallow water. *J. Hydraul. Eng.*, 138 (2), 177-185.
- Amini A., Mohd Th., Ghazali H., Huat B. and Aziz A. (2011). A local scour prediction method for pile cap in complex piers. *ICE-Water Manag.*, 164(WM1), 73-80
- Badri P., Shafai Bajestan M., kashafi Poor S. M. and Bahrami Yarahmadi, M. (2016). Experimental investigation of bed topography of a 90 degree mild bend with triangular vane attached to the bank. *J. Irrig., Sci. Eng.*, 39(1), 45-54 [In Persian].
- Bahrami Yarahmadi M. and Shafai Bajestan M. (2015). The effect of triangular vanes in a 90 degree mild bend on bed topography. *J. Civ. Environ. Eng.*, 45 (3), 1-14 [In Persian].
- Bahrami Yarahmadi M. and Shafai Bajestan M. (2016). Sediment management and flow patterns at river bend due to triangular vanes attached to the bank. *J. Hydro. Environ. Res.*, 10, 64-75.
- Bhuiyan F., Hey R. D. and Wormleaton P. R. (2010). Bank-attached vanes for bank erosion control and restoration of river meanders. *J. Hydraul. Eng.*, 136(9), 583-596.
- Bhuiyan F., Hey R.D. and Wormleaton, P. R. (2009). Effects of vanes and w-weir on sediment transport in meandering channels. *J. Hydraul. Eng.*, 135 (5), 339-349.
- Chiew Y. M. (1992). Scour protection at bridge piers. *J. Hydraul. Eng.*, 118(9), 1260-1269.
- Dorosti M., Amirsalari F., Fathi A. and Mahmoodian-shoshtari M. (2016a). The effect of bank attached triangular vanes series on local scouring in 90 degree mild bend. 6th National Water Sour. Manage. Kurdistan University, Iran [In Persian].

- Dorosti M., Amirsalari F., Fathi A. and Mahmoodian-shoshtari M. (2016b). The effect of sacrifice vane on first vane bed topography in bank attached triangular vanes in 90 degree mild bend. 2th International Conference in New Research on Civil, Architectural & Urban manage. Amirkabir University, Iran [In Persian].
- Hosseini. (2016). The effect of slot location on reduction of local scouring of the submerge triangular vanes attached to the bank. MSc. Thesis. Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran. [In Persian]
- Radspinner R. R., Diplas P., Lightbody A. F. and Sotiropoulos F. (2010). Rivertraining and ecological enhancement potential using in-stream structures. *J. Hydraul. Eng.*, 136 (12), 967–980.
- Shaker E., Kashefipour S. M. and Moltaji A. A. (2013). Experimental investigation on the effect of series of groynes on the secondary currents in a 90 degree mild bend. 9th International River Engineering Conference. Shahid Chamran University Ahwaz, Iran. (In Persian)
- Zahiri J., Kashefipour S. M., Shafai Bajestan M. and Gomeishi M. (2012). The effect of riprap parameters on spur dikes protection in 90 degree bend. *J. Irrig. Sci. Eng.*, 35(4), 49-58 [In Persian].

Experimental Investigation on the Effect of Slotted Triangular Vanes on Channels Bed Variation

Mohsen dorosti^{1*}, Mohammad Mahmoodian Shoshtari² and Ahmad Fathi³

¹ MSc. Student, Department of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

² Emeritus Professor, Department of Civil, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

³ Assistant Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

*Corresponding author: mohsendrostri@yahoo.com

Received: January 26, 2017

Accepted: March 15, 2017

Abstract

Investigations have indicated that in-stream structures have better performance rather than alternative structures such as rip-rap revetment and spur-dikes in term of cost, performance, maintenance, and environmental enhancement and help preserve the environment on the banks of meandering rivers. The slotted triangular vanes are among the in-stream structures. This study aimed at investigating the effect of slotted triangular vanes in sedimentary channels bed variation in 90 degrees bend flume ($R/B=4$, R and B , bend radius and width of the flume, respectively). The experiments were performed by three distances of four, six, and eight times the effective length (L_e) in Froude numbers of 0.287, 0.304, and 0.322 under clear water conditions. The bed materials used were sand with an average diameter (d_{50}) of 1.5 mm and a geometric standard deviation ratio (σ) of 1.22. The vanes angle to the upper bank was constant. After conducting analysis, the bed topography and required data were collected. The results showed that by installing the vanes attached to the outer bend flume, local scour occurred at the tips of vanes. By increasing distance between the vanes, the average depth of scour around the tips of vanes increased so that the distance of $4L_e$ presented better performance than the distance $6L_e$ and $8L_e$ in scour protection around vanes. The Scouring bed materials were precipitated on the back of vanes and near outer bank. By increasing distance between the vanes and increasing space between the vanes, scouring bed materials allocated more flume along the length; hence, the maximum mound height decreased.

Keywords: Bed Topography; Instream Structures; Sediment; Banks Protection